

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ГОРОДСКОГО
ХОЗЯЙСТВА**

В.В. МАСЛОВСКИЙ

**Формирование свойств надежности
элементов транспортных трубопроводных энергетических
систем и региональной экологической безопасности
при их производстве и ремонте**

ХАРЬКОВ – ХНАГХ – 2009

Р е ц е н з е н т ы :

И.А.Шеренков Заслуженный деятель науки и техники Украины, член Международной Ассоциации гидравлических исследований, Действительный член АС и АЭН Украины, доктор технических наук, профессор (Зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры)

А.С.Полянский Член-корреспондент Транспортной академии Украины, доктор технических наук профессор (профессор кафедры Технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета)

Б.С.Ильченко Академик Украинской нефтегазовой академии, доктор технических наук, профессор (профессор кафедры «Эксплуатации газовых и тепловых систем» Харьковской национальной академии городского хозяйства).

МЗ1 Масловский В.В. Формирование свойств надежности элементов транспортных трубопроводных энергетических систем и региональной экологической безопасности при их производстве и ремонте / -В.В. Масловский. - Харьков: ХНАГХ 2009. – 254 с.

Рекомендовано решением Ученого Совета ХНАГХ, протокол № 3 от 27.11.09 г.

Монография посвящена проблеме, определяющей закономерности формирования показателей надежности трубной арматуры транспортных трубопроводных систем и экологической безопасности вспомогательных материалов, используемых в технологических целях при производстве изделий в регионах. На основании анализа проблем существующих транспортных трубопроводных энергетических систем и проблем их надежности разработаны теоретические аспекты формирования надежности конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем на этапах производства и ремонта. Научно обоснована стратегия обеспечения надежности трубной арматуры по критерию технологической наследственности. Освещено управление качеством и экологической безопасностью вспомогательных материалов технологического назначения.

Приведено теоретическое обоснование формирования стратегии информационной надежности на этапах производства и ремонта.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана методика обеспечения управления надежностью элементов транспортной трубопроводной запорной арматуры, связанной с герметизацией уплотняющих поверхностей.

Монография рассчитана на учетных и инженерно-технических работников региона, занятых проектированием, созданием и эксплуатацией газовых энергетических транспортных трубопроводных систем, может быть полезной преподавателям, аспирантам и студентам факультета Инженерной экологии городов и других энергетических специальностей.

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АМП	агрегатный метод проектирования
АДС	абразивно-доводочная смесь
АПС	абразивно-полировальная смесь
ГРП	газорегулировочный пункт
ТМОК	техническая моющее-очищающая композиция
ТО	техническое обслуживание
ТОР	техническое обслуживание и ремонт
ТР	технология ремонта
КПД	коэффициент полезного действия
Ду	диаметр условного прохода
СНГ	содружество независимых государств
ТМС	технические моющие средства
СМС	синтетические моющие средства
СОЖ	смазочно-охлаждающая жидкость
СРФ	склад ремфонда
ТрА	трубная аппаратура
АМ	микropорошок алмазный
1АМ	микropорошок электрокорунда белого
ХЗТД	Харьковский завод тракторных двигателей
ХЭРП	Харьковское энергоремонтное предприятие
КАМАЗ	Камский автомобильный завод
ГОСИНТИ	Государственный институт научно-технической информации
2АМ	микropорошок электрокорунда нормального
3АМ	микropорошок электрокорунда хромистого
63М	микropорошок карбида кремния зеленого
6ЧМ	микropорошок карбида кремния черного
КБМ	микropорошок карбида бара

ВВЕДЕНИЕ

Трубопроводный транспорт газа, тепла, воды, нефти и других энергоносителей из узкоспециализированной технической системы превратился в крупную транспортную отрасль народного хозяйства. Основу транспортной энергетической системы составляют магистральные трубопроводы, которые представляют собой сложный взаимосвязанный динамический комплекс. Так парк газового оборудования и трубопроводных систем страны характеризуется следующим:

- протяженность магистральных газопроводов с ответвлениями от них имеет 37 тыс. км.;

- протяженность газораспределительных сетей городов и населенных пунктов составила больше 244 тыс. км.;

- количество газораспределительных станций (ГРС) превышает 1500, а газораспределительных пунктов различных типов – 29,5 тыс. Кроме того, транспортные трубопроводные системы включают ряд сложных объектов – это компрессорные (КС) и насосные станции (НС), а также электрозащитное оборудование и сооружения связи, водоразборные устройства. Внешне входные и выходные трубопроводы – гребенка с большим числом запорной арматуры и другой аппаратуры.

В соответствии с национальной программой «Нефть и газ Украины до 2010г.», утвержденный Постановлением Кабинета Министров Украины от 17.02.1995 г. № 125 предусматривается довести добычу газа до 28 млрд. м³ на год, нефти с газовым конденсатом – до 5,4 млн. т. на год.

Через Украину проходят самые большие в Европе газотранспортные системы, по которым газ и нефть транспортируется из России в Украину, а также в 15 стран Центральной и Западной Европы. Ныне эти цифры возросли. Однако известно, что снижение уровня надежности работы трубопроводной энергетической системы может привести к срывам плана транспортировки и

поставок газа потребителям, а также к простоям оборудования и потерям ценного сырья и дорогостоящим ремонтно-эксплуатационным работам.

Обеспечение бесперебойной работы газового, теплоэнергетического оборудования и транспортных трубопроводных систем, экологическая безопасность их эксплуатации регионов невозможны без своевременного и качественного ухода и ремонта.

Основные причины отказов в работе газопроводов – дефекты труб и трубной арматуры (16%), наружная коррозия металлов (50%), неудовлетворительное качество сварочных и строительно-монтажных работ (18%), внутренняя коррозия и эрозия (6%), пробивка механизмами тела труб (3%), нарушение правил технической эксплуатации (2%) и др.(5%), в том числе трубной арматуры.

В связи с высокими требованиями к качеству и эксплуатационной надежности конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем существенно должен меняться подход к конструированию, разработке технологии изготовления, проведению технического ухода и ремонта трубной арматуры. Обусловлено это тем, что трубную арматуру необходимо рассматривать как «стареющую» систему, параметры которой изменяются в результате изнашивания прецизионных пар (герметизирующих), усталости старения материалов, что приводит к снижению надежности и долговечности изделий.

Эксплуатационная изменчивость скоростного напора энергоносителя в транспортной трубопроводной системе является традиционным предметом исследования и нормирования. Зависимость утечки энергоносителя от износа прецизионных пар трубопроводной арматуры изучена недостаточно, хотя результаты выполненных исследований указывают на целесообразность учета этого фактора при проектировании, создании и эксплуатации теплового, газового и другого энергетического оборудования транспортных трубопроводных систем.

Проблемы повышения эффективности эксплуатации транспортных трубопроводных систем посвящены многочисленные работы КБ, НИИ, ВУЗов страны, что позволило за последние годы существенно повысить технический

уровень и надежность конструктивных элементов газового оборудования и трубопроводных систем.

Вместе с тем, рост и развитие новых технологий, компьютерной техники, несколько снизили интерес к проблемам надежности и долговечности запорной трубной арматуры, к изучению традиционной техники и технологии, их производства и ремонта, а на практике только из-за несовершенства конструкций, технологии производства запорной и регулировочной арматуры происходит нерациональное использование энергоносителя при его транспортировании от мест добычи к потребителю.

Несмотря на тесную взаимосвязь между техническими свойствами надежности конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем, существуют также экономические и экологические связи, которые обусловлены затратами на их создание, производство и эксплуатацию.

Проблеме, которая определяет закономерности формирования показателей надежности трубной арматуры транспортных трубопроводных систем и региональной экологической безопасности, используемых вспомогательных материалов при их создании, производстве и эксплуатации с учетом технологической наследственности на всех стадиях жизнедеятельности посвящена настоящая монография.

Правильный выбор материала заготовки по остаточным напряжениям при восстановлении первоначальных свойств надежности прецизионных пар трубопроводной арматуры позволяет существенно повысить долговечность их работы, снизить потери транспортируемого энергоносителя и управлять экологической безопасностью в регионе. Релаксация напряжений, равно как и структурные превращения в металле заготовок приводит к изменению их формы и размеров. Если для повышения отдельных показателей надежности важно формировать в поверхностных слоях напряжений определенного знака, то для увеличения стабильности размеров и формы прецизионных деталей арматуры напряжения обоих знаков являются нежелательными. Исходя из известных направлений повышения эксплуатационной надежности трубной арматуры,

определенный интерес представляет использование биметалла в уплотнительной части запорной газовой аппаратуры, что нашло свое отражение в работе.

Изложенные в монографии модели, методы и стратегия создали теоретическую основу системного подхода при создании, производстве и эксплуатации трубной арматуры транспортных трубопроводных систем и практическая реализация которых позволяет:

- изменить воззрение на роль и значение конструктивно-технологического фактора высокоточных прецизионных пар трубной арматуры в деле надежности, энергосбережения и экологической безопасности транспортной энергетической системы региона;

- разработать рациональные пути снижения износостойкости сопрягаемых пар арматуры, создав ряд стратегий обеспечения заданного качества с учетом технологической наследственности на этапах производства и ремонта;

- более широко применять находящиеся в серийном производстве высокоэффективные, экологически безопасные, энергосберегающие технические моюще-очищающие композиции «ТМОК», которые более 30 лет являются вне конкуренции, а области их использования не имеют ограничений в производственной и ремонтной практике многих отраслей народного хозяйства;

- обобщить, свести в общую систему знаний и издать учебное пособие «Основы технологии ремонта газового оборудования и трубопроводных систем», получившее одобрение Минвуза России, которое издано в Москве издательством «Высшая школа» в 2004 году и переиздано в 2007 году;

- разработать классификатор технических моюще-очищающих средств, являющийся научной основой в деле проектирования, производства и совершенствования составов вспомогательных технологического назначения;

- приведенный в монографии метод прогнозирования функционально-технического состояния элементов транспортных трубопроводных систем по разности входа и выхода через трубную арматуру транспортируемого энергоносителя позволит осуществлять энергосбережение в регионе. Для чего предлагается в проектах предусматривать специальные приборы и устройства,

способные компенсировать износы узлов трения трубной арматуры, повысить герметизирующую способность запорной пары.

Теоретические предположения, касающиеся износа прецизионных пар трубной арматуры и связанная с этим утечка энергоносителя, подтверждены экспериментальными исследованиями.

Вопросы, связанные в последней главе, носят фактические рекомендации по решению актуальных проблем газозенергетики городских хозяйств.

В целях достаточно полной информации читателям по всем затронутым вопросам, часть которых изложена очень сжато в монографии помещена значительная библиография, включающая основные печатные работы по проблеме технологической наследственности и экологической безопасности при производстве и ремонте высокоточных деталей арматуры.

Основное содержание монографии базируется на работах автора, выполненных в Харьковской национальной академии городского хозяйства, в Северо-Восточном центре Национальной Академии наук Украины и других организациях за последние 30 лет. Вместе с тем, для анализа отдельных вопросов были использованы с соответствующими ссылками на источники информации многих ученых страны и зарубежных исследователей.

Автор пользуется возможностью выразить глубокую признательность ректорату и сектору оперативной полиграфии ЦНИТ Харьковской национальной академии городского хозяйства, а также докторам наук, профессорам Полянскому А.С., Шеренкову И.А., Торкатию В.И., Душкину С.С., Капцову И.И., Ильченко Б.С. за их ценные замечания и помощь.

Результаты внедренческих работ по данной проблеме не имели бы таких обширных масштабов, если бы Генеральный директор ЗАО «Экохиммаш» канд. техн. наук Смирнов А.С. не осуществил бы серийное производство композиции ТМОК – БПУ и продолжает начатое дело по настоящее время, за что ему и вверенному коллективу сердечная благодарность.

РАЗДЕЛ 1

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТРАНСПОРТНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1.1. Структура современных транспортных энергетических трубопроводных систем

Современные транспортные энергетические системы – это трубопроводы с конструктивными элементами, а так же различными сооружениями на них, предназначенные для транспортирования жидких, газообразных и твердых сыпучих материалов от мест их производства к местам переработки или потребления [1, 178]. В зависимости от вида перекачиваемого продукта транспортные трубопроводные системы подразделяются на нефтяные, газовые, силовые, углекислопроводные и т.д. Для подачи топлива в зону сгорания двигателя разработаны специальные трубопроводные системы, имеющие свои названия. Основу транспортной трубопроводной системы составляет магистральный трубопровод — сооружение линейного типа, представляющее непрерывную трубу, вдоль которой размещаются сооружения, обеспечивающие перекачку транспортируемого продукта при заранее заданных параметрах (давлении, температуре, пропускной способности и т. п.). В отличие от других линейных сооружений, таких, как автодороги, железные дороги, магистральный трубопровод в течение всего срока эксплуатации находится в сложном напряженном состоянии под воздействием внутреннего давления перекачиваемого продукта и работает как сосуд высокого давления. Если по нему перекачивается нефть, газ, бензин и т. п., то это делает его к тому же чрезвычайно энергонасыщенным сооружением [4]. Трубопроводы для добычи и транспортировки газа, нефти и нефтепродуктов подразделяются на четыре группы:

- промысловые трубопроводы;

- технологические трубопроводы;
- магистральные трубопроводы;
- распределительные трубопроводы.

Промысловые трубопроводы прокладываются от скважин к установкам подготовки газа, газового конденсата или нефти на промыслах. Они служат для сбора продуктов скважин и их транспортировки на установки комплексной подготовки газа (УКПГ) или установки комплексной подготовки нефти (УКПН), а также для подачи очищенного газа, ингибитора и сточных вод под большим давлением в нефтяные скважины. Обычно диаметры промысловых трубопроводов составляют 100-200мм; диаметр промыслового коллектора — 500-1000 мм. Давления в промысловых трубопроводах достигают 32 МПа (320 кгс/см^2) и более.

Технологические трубопроводы прокладываются на территории УКПГ и УКПН и предназначены для соединения между собой технологического оборудования, на котором осуществляется очистка нефти или газа от механических примесей, воды и других компонентов.

Магистральные трубопроводы предназначены для дальней транспортировки подготовленных на промысловых сооружениях нефти, газа, газового конденсата. Кроме того, магистральный трубопровод прокладывается от газоперерабатывающих и нефтеперерабатывающих (нефтепродуктопровод) заводов до районов их потребления. Диаметры магистральных трубопроводов могут быть от 200 до 1400 мм, рабочие давления в них могут составлять от 2,5 МПа (25 кгс/см^2) до 10,0 МПа (100 кгс/см^2).

Распределительные трубопроводы прокладываются от магистральных трубопроводов к местам непосредственного потребления газа или нефтепродуктов. Диаметр таких трубопроводов обычно составляет 100—300мм, рабочие давления не превышают 1,2 МПа (12 кгс/см^2).

Рассмотрим классификацию трубопроводов и их участков по сложности строительства.

В соответствии со СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы» магистральные газопроводы подразделяются на два класса в зависимости от рабочего давления:

- I класс — рабочее давление свыше 2,5 МПа (25 кгс/см²) до 10,0 МПа (100 кгс/см²) включительно;
- II класс — рабочее давление свыше 1,2 МПа (12 кгс/см²) до 2,5 МПа (25 кгс/см²) включительно.

Магистральные нефтепроводы и нефтепродуктопроводы подразделяются на четыре класса в зависимости от диаметра трубопровода:

- I класс — диаметр свыше 1000 мм до 1200 мм включительно;
- II класс — диаметр свыше 500 мм до 1000 мм включительно;
- III класс — свыше 300 мм до 500 мм включительно;
- IV класс — 300 мм и менее.

В зависимости от класса трубопровода выбираются безопасные расстояния от трубопровода до строений и сооружений при проектировании.

Наряду с этой классификацией для трубопроводов и их участков установлены категории, которые требуют обеспечения соответствующих прочностных характеристик (выбора коэффициента условий работы трубопровода при расчете его на прочность, устойчивость и деформированность), объема неразрушающего контроля сварных соединений и величины испытательного давления. В соответствии со СНиП 2.05.06-85* приняты пять категорий трубопроводов и их участков: В, I, II, III, IV; наиболее высокой категорией является «В», наименьшей — IV. Чем выше категория трубопровода, тем больше принимается объем контроля сварных соединений, выше испытательное давление, меньше коэффициент условий работы трубопровода.

К категории «В» относятся: переходы нефтепровода и нефтепродуктопровода диаметром 1000 мм и более через судоходные водные преграды и несудоходные шириной зеркала воды 25 м и более; газопроводы внутри зданий компрессорных станций (КС), подземных хранилищ газа (ПХГ),

газораспределительных станций (ГРС), нефтеперекачивающих станций (НПС) и др. К участкам IV категории относятся трубопроводы, проходящие по равнинной местности, в устойчивых грунтах, вдали от строений и сооружений.

Магистральная газовая трубопроводная транспортная система включает следующие группы сооружений (рис. 1.1): головные, линейные, компрессорные станции (КС) [2], газораспределительные станции (ГРС) в конце трубопровода, подземные хранилища газа (ПХГ), объекты связи, системы электрозащиты сооружений трубопровода от коррозии, вспомогательные сооружения, обеспечивающие бесперебойную работу газопровода (водозаборные устройства и водопроводы, канализация и т.п.), объекты ремонтно-эксплуатационной службы (РЭП).

Трубопроводные транспортные газовые системы пересекают горы, реки, непроходимые топи и болота, моря, а другие – аккуратно вписываются в густонаселенные города и населенные пункты.

В конечном итоге все это и другое усложняет работы по отысканию дефектов и их устранение.

Если трубопроводные системы эксплуатируются в более благоприятных условиях, то газ проходя через газораспределительные станции (ГРС) и далее через газорегулировочные пункты (ГРП), его количество предопределяется эксплуатационной надежностью регулируемыми устройствами и трубной арматуры.

Давление газа в магистрали колеблется в широком диапазоне — от 1,0 до 7,5 МПа, на выходе — от 0,3 до 1,2 МПа, иногда (при промышленном потреблении и разводящей сети среднего давления) до 2,5 МПа [26, 148, 149].

В зависимости от производительности газораспределительные станции подразделяются на две группы: первая группа предназначена для малых и средних газопотребителей с расходом газа менее 250 тыс. м³/ч, вторая группа - для крупных газопотребителей с расходом более 250 тыс. м³/ч.

На ГРС имеются следующие комплексы оборудования:

— узлы очистки поступающего газа от пыли и жидкости, оборудуемые висциновыми фильтрами, масляными пылеуловителями или газовыми сепараторами;

— узлы редуцирования, где давление газа снижается и автоматически поддерживается на заданном уровне с помощью регуляторов давления (РД) различной мощности;

— узлы учета количества газа с камерными диафрагмами на выходных газопроводах и расходомерами-дифманометрами;

— узлы переключения с запорными устройствами для направления потоков газа непосредственно в выходные газопроводы по базисным линиям, минуя ГРС в аварийных ситуациях, либо при ремонте установок; на выходных линиях устанавливаются пружинные предохранительные клапаны, через которые в случае непредвиденного повышения давления в системе газ автоматически сбрасывается в атмосферу;

— установки подогрева газа для предотвращения образования гидратных пробок;

— установки одорирования газа с одоризационными колонками и емкостями для одоранта;

— внешние входные и выходные трубопроводы — гребенка с большим числом запорной арматуры;

— устройства КИП и автоматики.

При более детальном анализе места и роль отдельных блоков транспортной трубопроводной системы укажем, что ГРС 10-150 состоит из следующих блоков: редуцирования с помещением КИПиА, очистки, переключения, подогревателя, газа. Блоки ГРС монтируются из унифицированных узлов. Известны четыре типоразмера узлов входа и очистки газа; семь типоразмеров узлов редуцирования; пять типоразмеров узлов расходомерной нитки I потребителя; четыре типоразмера узлов расходомерной нитки II потребителя. Из указанного числа узлов комплектуются блоки ГРС производительностью от 10 до 150 тыс. м³/ч.

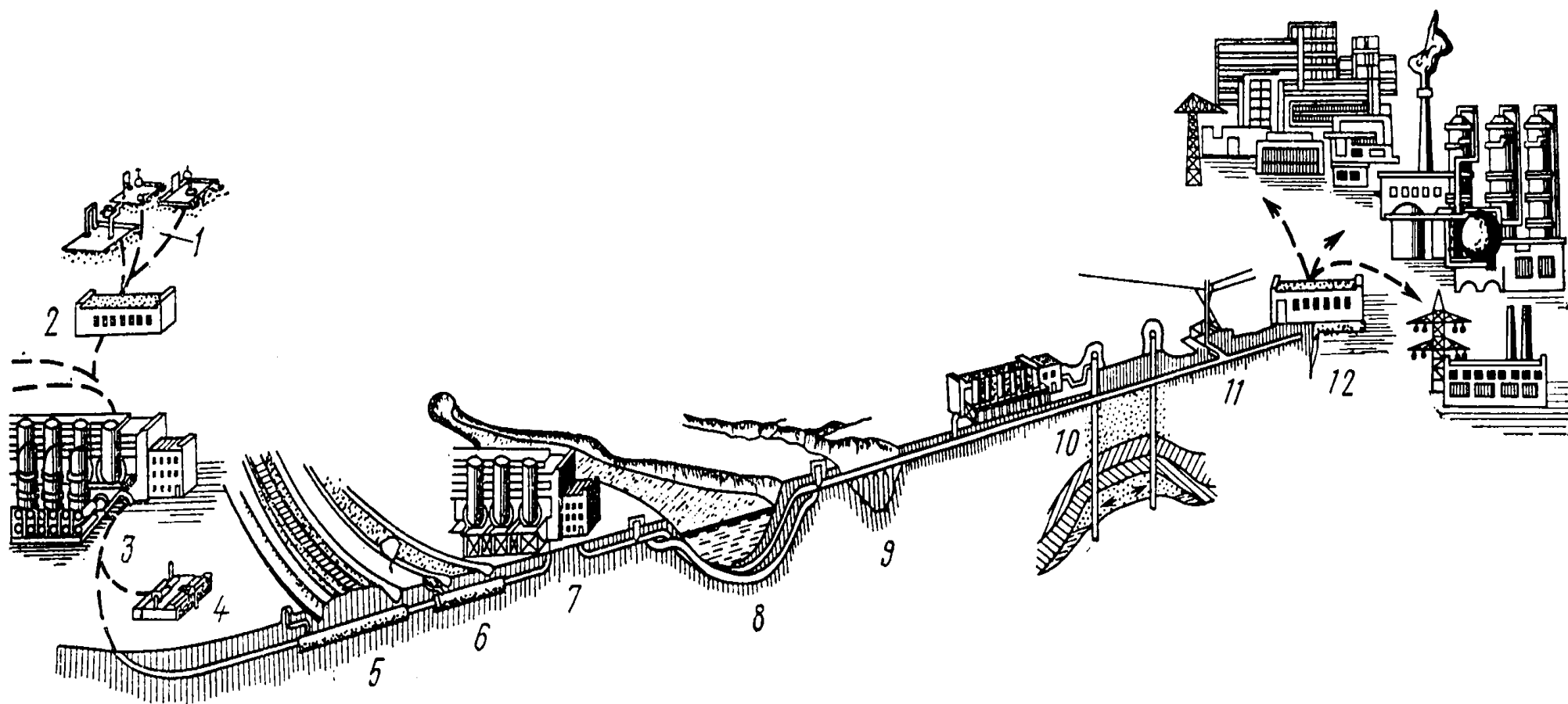


Рис. 1.1 – Схема магистрального транспортного газопровода:

1-промысел; 2 - газосборный пункт; 3 - головная КС; 4 - отвод и ГРС; 5. 6 - переходы через дороги; 7 - промежуточная КС; 8, 9 — переходы через реку и овраг; 10 — подземное газохранилище; 11 — станция катодной защиты; 12 — конечная ГРС

Блок переключения смонтирован на металлической раме, который может быть установлен на открытом воздухе или в помещении из легких панелей заводского изготовления. В состав блока входят:

- входной и выходной газопроводы со смонтированными на них пневмокранами;
- кран продувки входного газопровода;
- предохранительные клапаны;
- обводная линия ГРС с кранами;
- установка одоризации газа;
- расходомерные диафрагмы;
- соединяющие трубопроводы; свеча;
- импульсные трубопроводы;
- изолирующие фланцы.

Из приведенного краткого анализа газовой транспортной трубопроводной системы, можно предположить какие проблемы возникают в процессе ее эксплуатации (рис.1.2).

Можно полагать и для газовых систем как указывает ряд авторов [48, 55, 60, 68, 93], что проблемы управления надежности конструктивных элементов возникают на всех этапах проектирования, создания и эксплуатации.

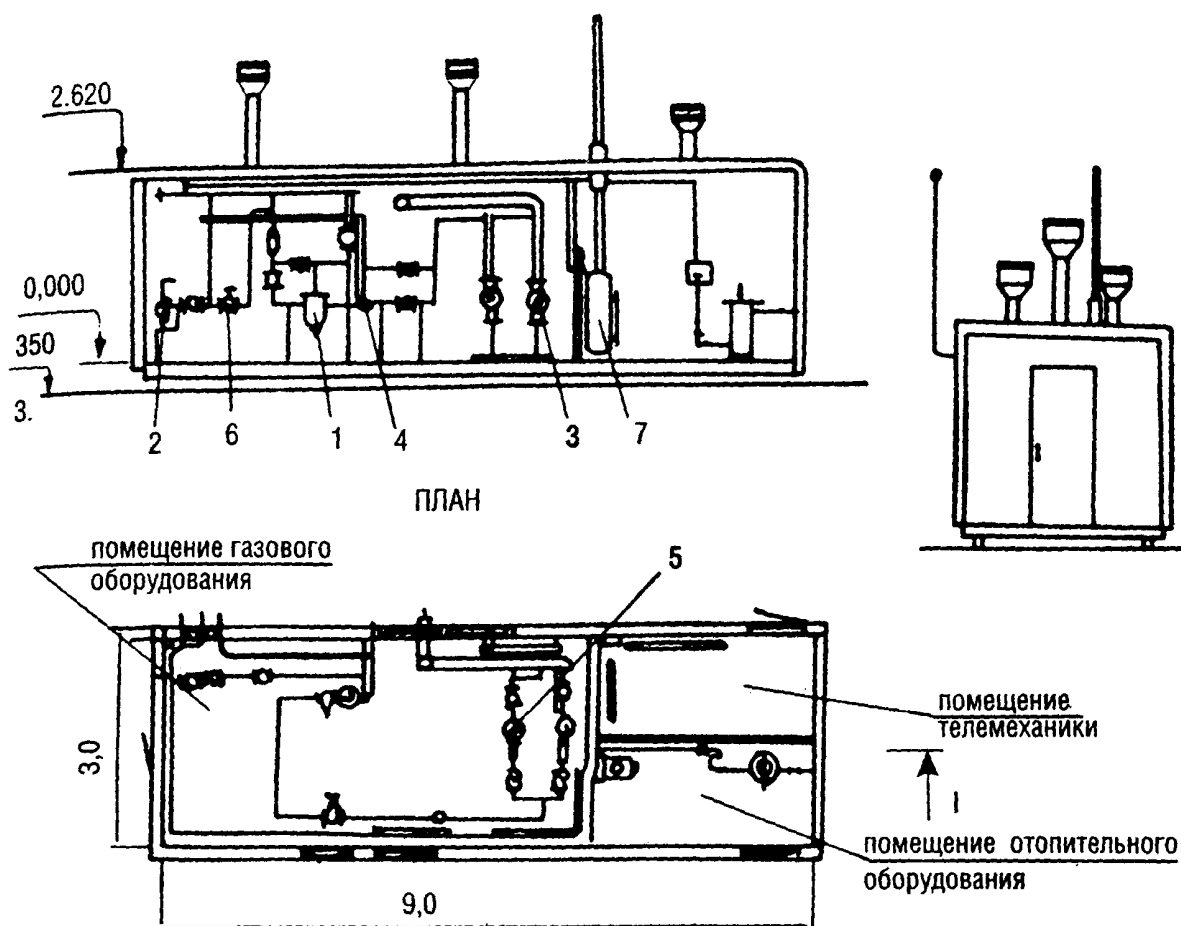


Рис.1.2 – Принципиальная схема ГРП:

1 – фильтр газовый; 2,3 – регуляторы давления; 4 – клапан предохранительный сбросный; 5 – клапан запорно-предохранительный; 6 – клапан предохранительный ГП; 7 – клапан отопительный аппарат АОГВ

1.2. Трубная арматура и ее функциональная роль в транспортной трубной системе

В состав любого трубопровода входит арматура, представляющая собой устройства, предназначенные для управления токами жидкости или газа, транспортируемых по трубопроводам [56, 115, 176]. Запорная арматура линейной части трубопровода устанавливается на расстоянии 10—30км. Кроме того, арматура устанавливается:

- на обоих берегах водных преград при их пересечении трубопроводами в две нитки и более. При пересечении водных преград в одну нитку место установки арматуры принимается в зависимости от рельефа местности, примыкающей к переходу и необходимости исключения попадания транспортируемого продукта в водоем;

- на обоих берегах болот III типа протяженностью свыше 500 м;

- в начале каждого ответвления от основного трубопровода на расстоянии не менее 15м;

- на одном или обоих концах участков нефтепроводов, проходящих на отметках выше городов и других населенных пунктов и промышленных предприятий — на расстоянии, устанавливаемом проектом в зависимости от рельефа местности. Основным назначением арматуры является перекрывание потока рабочей среды по трубопроводу и возобновление пуска потока в зависимости от требований технологического процесса, обслуживаемого данным трубопроводом. Кроме того, запорную арматуру применяют:

- для переключения потока или его части из одной ветви системы в другую;

- для дросселирования потока среды, т.е. изменения его расхода, давления и скорости.

Основными требованиями, предъявляемыми к арматуре, являются: длительный срок службы; надежность и долговечность. По условиям работы к арматуре предъявляются следующие требования: прочность, герметичность и надежность работы, взрывобезопасность и коррозионная стойкость. Требуемая прочность арматуры диктуется рабочим давлением в трубопроводе. По значению условного давления арматура делится на три группы: низкого, когда условное давление менее 1 МПа; среднего, когда условное давление равно 1,6—6,4 МПа, и высокого, когда условное давление составляет 10—100 МПа.

Основой параметр арматуры — это диаметр условного прохода D_y (номинальный внутренний диаметр трубопровода, на котором установлена данная арматура). Различные типы арматуры при одном и том же условном проходе могут иметь разные проходные сечения. Не следует смешивать диаметр условного

прохода с диаметром проходного сечения в арматуре. Диаметр проходного сечения в арматуре часто меньше D_y (арматура с сужением прохода) или больше D_y (арматура с кольцевым проходным сечением). В то же время условный проход арматуры не совпадает и с фактическим проходным диаметром трубопровода.

В практике создания транспортных трубопроводных систем трубная арматура подразделяется на следующие типы (рис.1.3):

- краны, в которых затвор, выполненный в виде конической, шаровой или цилиндрической пробки, пригнанной к соответствующему гнезду в корпусе, вращается вокруг своей оси (обычно используются в трубопроводах газа и жидкости диаметром до 100мм);

- вентили, где затвор (золотник, тарелка) перемещается поступательно вдоль оси прохода седла, которые используются для перекрытия газа и жидкости в трубах диаметром от 50 до 2000мм;

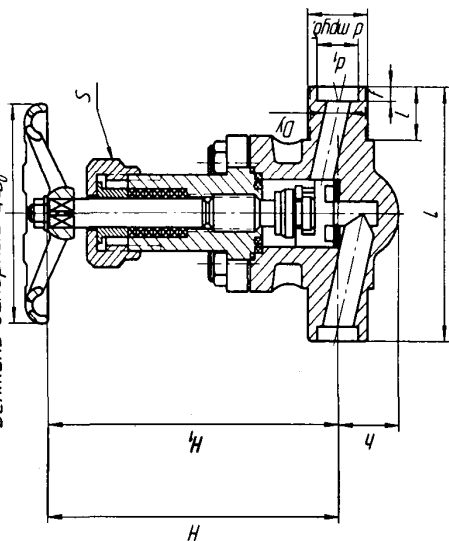
- задвижки, у которых затвор (клин, диски) перемещается в плоскости, перпендикулярной к оси прохода седла;

- заслонки с затвором, выполненным в виде диска, вращающегося на полуосях.

К запорной арматуре относятся задвижки, краны, вентили, на линейной части магистральных нефтепроводов устанавливаются задвижки. В состав задвижек входят запорные устройства, в которых проход перекрывается поступательным перемещением затвора в направлении, перпендикулярном движению потока транспортируемой среды. К недостаткам задвижек относятся:

- невозможность применения для сред с кристаллизующимися включениями;
- небольшой допустимый перепад давления на затворе;
- невысокая скорость срабатывания затвора;
- возможность возникновения гидравлического удара в конце хода;
- большая высота;
- трудность ремонта изношенных прецизионных пар уплотнительных поверхностей затвора при эксплуатации [6, 61, 171].

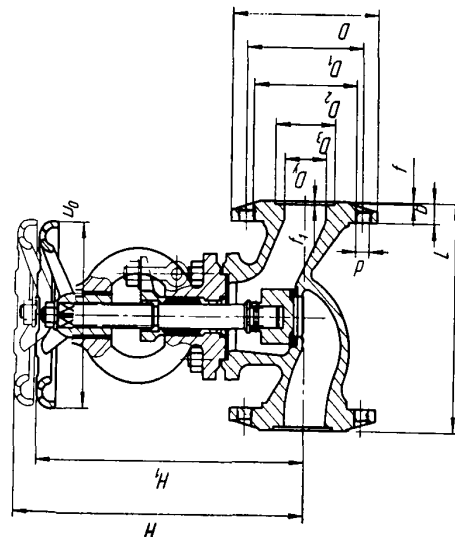
Вентиль запорный шаровый типа 15с10дт



Основные размеры (мм) и масса вентилей 15с10дт

Проток условный D_n	L	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}	Масса кг не более
15	120	33	102	195	24	46	6	205	120	3,4		

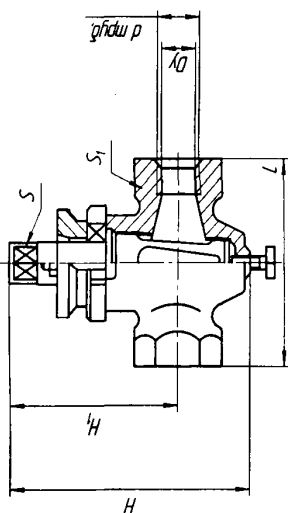
Вентиль фланцевый типа 15кч16дт



Основные размеры (мм) и масса вентилей 15кч16дт

Проток условный D_n	L	D_1	D_2	D_3	f	b	d	H	D_0	Количество масса кг				
25	160	115	85	68	58	2	4	16	14	205	275	120	4	7,0

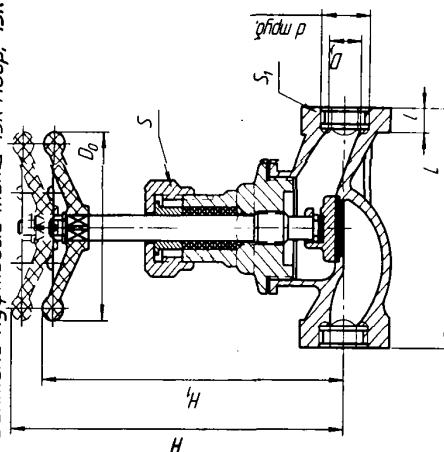
Кран сальниковый муфтовый типа 1146дк



Основные размеры (мм) и масса сальниковых муфтовых кранов 1146дк и ВН-4,7-57

Проток условный D_n	L	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}	Масса кг не более
15	1/2	80	14	30	11	170	80	0,75				
20	3/4	90	16	36	14	125	90	1,1				
25	1	110	18	46	17	150	105	1,7				
32	1 1/2	130	20	55	19	175	125	3,5				
40	2	150	22	60	22	225	145	4,5				
50	2 1/2	170	24	75	27	260	165	7,0				
70	3 1/2	220	26	90	32	330	205	13,0				

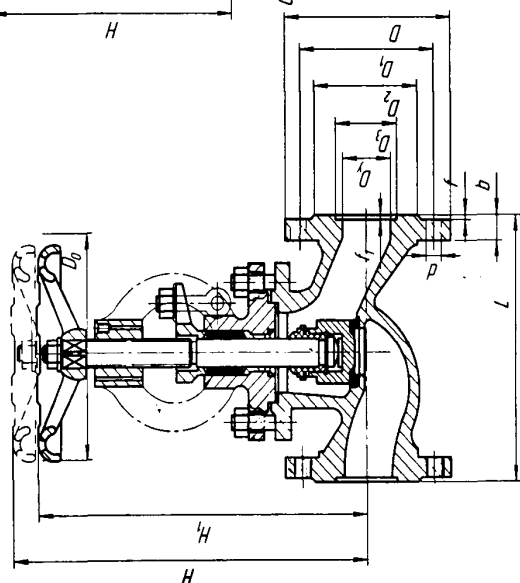
Вентили муфтовые типа 15кч18дт, 15кч18р



Основные размеры (мм) и масса вентилей 15кч18дт

Проток условный D_n	L	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}	Масса кг не более
15	1/2	90	12	27	24	108	115	65	0,7			

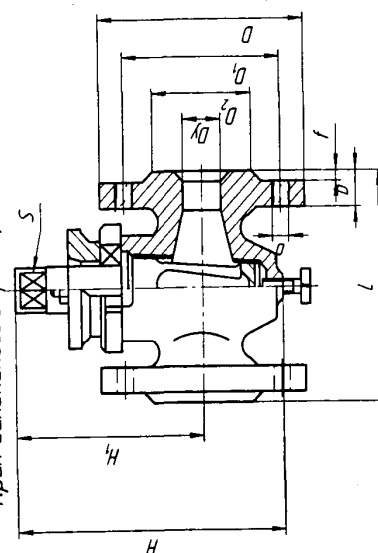
Вентиль фланцевый типа 15с18дт



Основные размеры (мм) и масса вентилей 15с18дт

Проток условный Q_n	L	D	D_1	D_2	D_3	f	i	b	d	H	D_0	Масса кг		
												до 100 мм	не более	
100	300	230	180	162	150	3	4,5	25	23	391	435	280	8	53,0
125	400	270	220	188	176	3	4,5	38	25	542	623	320	8	96,0

Кран сальниковый фланцевый типа 1148дк



Основные размеры (мм) и масса сальниковых фланцевых кранов 1148дк

Проток условный D_n	L	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}	Масса кг не более
25	110	115	85	68	2	16	14	17	165	105	4	3,5
32	130	135	100	78	2	18	16	19	195	125	4	6,3

Рис.1.3. Характерные конструкции трубной арматуры

Многочисленные конструкции задвижек можно классифицировать по конструкции затвора. По этому признаку различают клиновые и параллельные задвижки. Клиновые задвижки могут быть с цельным, упругим или составным клином. Параллельные задвижки бывают одно- и двухдисковые. Все задвижки на магистральных нефтепроводах оборудуются электроприводами во взрывозащищенном исполнении.

Для предотвращения движения транспортируемой по трубопроводу среды в направлении, обратном заданному, применяются обратные клапаны. По конструкции обратные клапаны делятся на подземные и поворотные. Обратные поворотные клапаны D_y 700-1000мм снабжаются гидротормозами для исключения больших ударных нагрузок при быстром закрытии клапана.

Кроме перечисленных основных типов арматуры, на газопроводах низкого давления применяют гидрозатворы. Таким образом, в зависимости от назначения и конструктивных особенностей трубная арматура подразделяется на следующие виды:

- запорная арматура – предназначенная для отключения участков газопровода, отключения от сети потребителей газа или отдельных газовых приборов;
- регулирующая арматура – для поддержания постоянного давления и расхода;
- предохранительная арматура – для предупреждения давления газа сверх установленной величины путем выпуска избыточного газа в атмосферу;
- аварийная арматура – для автоматического прекращения доступа газа к аварийному участку;
- отсечная арматура – для автоматического прекращения доступа газа в случае нарушения заданного режима работы газопотребляющего агрегата.

Изучение данного вопроса показало, что каждый вид арматуры состоит из двух основных элементов: исполнительного устройства и привода.

Исполнительные устройства называются запорными, если они предназначены для герметичного разобщения частей газопровода, и регулируемыми, если их основное назначение заключается в регулировании площади прохода.

В запорных устройствах поверхности затвора и седла, соприкасающиеся во время герметичного разобщения частей газопровода, называются уплотнительными высокочастотными сопрягаемыми деталями.

В регулирующих устройствах поверхности затвора и седла, образующие проход для газа – это дроссели.

В запорных устройствах затвор и седло называются запорной парой, в регулирующих устройствах – регулирующей парой.

В качестве отключающих запорных устройств на газопроводах применяется специальная арматура, рассчитанная на условия газовой среды. Установка на газопроводах арматуры, предназначенной для других сред (вода, пар, нефтепродукты), допускается, как исключение, при условии ее обязательной притирки с последующим испытанием на герметичность. Кроме указанных испытаний, вся газовая арматура в соответствии с техническими условиями на изготовление должна испытываться на герметичность воздухом давлением [3, 14].

По способу присоединения к трубопроводу газовая арматура подразделяется на фланцевую, муфтовую, цапковую и на арматуру с концами под сварку. По способу управления приводом арматура бывает:

- автоматического управления, когда управление приводом, перемещающим затвор, осуществляется обслуживающим персоналом;
- автоматического управления, когда управление осуществляется автоматически специальными приборами при изменении заданных параметров контролируемого процесса.

В зависимости от источника энергии, которая может быть приложена к приводу, различают арматуру:

- с ручным приводом;

- с механическим приводом (сервоприводом), действующим от посторонних источников энергии (электрический, гидравлический, пневматический);

- самодействующую, приводимую в действие без посторонних источников энергии.

Ручной привод часто применяется в виде маховика или рычага, который крепится на шпинделе, передающем движение затвору.

Самодействующая арматура работает на основе использования энергии самой среды, при этом перестановочное усилие возникает в результате изменения регулируемого параметра. Анализ показывает, что транспортная трубопроводная система, на первый взгляд, кажущаяся простейшим легко поддающимся расчетам инженерным сооружением, а трубную арматуру, ее поведение в период эксплуатации прогнозировать чрезвычайно сложно.

Таким образом, более глубокое изучение проблем повышения надежности и долговечности элементов транспортных трубных систем, в частности, арматуры, позволит рациональнее наладить учет транспортируемого энергоносителя, добиваясь снижения его утечки.

1.3. Современное воззрение на технологию ремонта транспортных трубопроводных систем и оборудования, ее проблемы

Исторический путь развития технологии ремонта – это тема, касающаяся всех отраслей народного хозяйства. Непрерывный рост числа газового, теплового и другого энергетического оборудования и транспортных трубопроводных систем, устаревание конструкций и при их высоких требованиях к надежности и долговечности эксплуатации – все это и другое стало самостоятельной проблемой. Технологические процессы, применяемые в ремонтной практике газоэнергетики, заимствованы в основном из автотрактораремонта, требуют научных обоснований и рекомендаций. Как показывают результаты наших многолетних исследований в деле

становления специальной технической области знаний – технология ремонта газового оборудования и трубопроводных систем – нуждается в уточнении не только терминологии, не говоря о других методах восстановления первоначальных свойств изделий. Нам удалось утвердить, что технология ремонта газового оборудования и трубопроводных систем – это прикладная отрасль науки, занимающаяся изучением закономерностей, действующих в процессе восстановления первоначальных свойств их деталей и узлов, с целью использования этих закономерностей для обеспечения требуемого качества при наименьшей их себестоимости и должной безопасности работ.

Одна из главных задач технологии ремонта — изучение закономерностей протекания технологических процессов и выявление тех параметров, воздействие на которые наиболее эффективно для интенсификации ремонтно-восстановительного процесса [65, 92].

В отличие от технологии материалов в основах технологии ремонта не рассматривается сущность технологических методов, а дается их сравнительная характеристика в целях выбора и целесообразного применения при разработке технологических процессов в зависимости от конкретных условий производства.

В основах технологии ремонта газовых транспортных систем и оборудования должны использоваться теоретические и прикладные науки; их положения синтезируются применительно к решению общих и конкретных технологических, экономических и экологических задач ремонтно-эксплуатационного производства газоэнергетики [148, 149].

Начало развития технологии газового оборудования и трубопроводных систем связано с газификацией городов и населенных пунктов. Устаревание газотранспортных систем, их износ заставили производство изыскивать пути и методы поддержания оборудования в работоспособном и безопасном состоянии, в продлении срока его службы.

Технология ремонта оборудования как наука о ремесле сегодня приобрела значение самостоятельной отрасли знаний. Исторически

технология ремонта газового оборудования и трубопроводных систем прошла путь, соответствующий пути развития газозенергетики. Довоенные ремонтные базы в основном существовали в теплоэнергетических хозяйствах; не было, по сути, газотранспортных систем. Анализ показывает, что работы по газификации промышленных предприятий и коммунального хозяйства в основном сводились к строительству; эффект отдачи ремонтных подразделений газовой промышленности был еще очень низким из-за отсутствия собственного опыта проведения технического обслуживания и ремонта газового оборудования, трубопроводов.

Началом развития ремонта газового оборудования и систем можно считать 50-е годы предыдущего столетия, когда в крупных городах России, Украины, Беларуси, Туркменистана и других странах СНГ начали строить малые ремонтные базы в газовых хозяйствах. Позже многие ремонтно-механические мастерские стали перерастать в хорошо оснащенные ремонтно-механические предприятия с широкой специализацией производства. Вместе с ростом ремонтно-механического производства газозенергетики развивается его технология.

Развитие технологии ремонта систем газоснабжения как науки делится на два этапа.

На первом этапе, примерно до 1950 г., технология ремонта, по существу, не являлась еще научно обоснованной дисциплиной. Она имела чисто ремесленное направление, являясь собранием отдельных приемов, способов и рецептов, отражающих тогдашнюю кустарную практику индивидуального ремонта с отсутствием взаимозаменяемости многих деталей и узлов газового оборудования.

На втором этапе, когда были открыты новые газовые местонахождения, и в особенности в Украине, Сибири и Крайнего Севера, когда газозенергетика стала получать новое газовое оборудование, и были построены большой протяженности транспортные газовые трубопроводы, потребовалось упорядочить технологию ремонта. Ее развитие — это заслуга широкого круга советских ученых, инженеров и

новаторов ремонтников-эксплуатационников. Созданию этой дисциплины способствовали труды И.П. Бородачова, Г. И. Зеленкова, В. В. Ефремова, В.А. Шадричева, К.Т. Кошкина, И.Е. Дюмина и др. [71, 109, 123, 125].

Технология ремонта деталей, узлов, агрегатов, машин и систем развивается на основе передовой науки и техники. Изучение данной проблемы показало, что научная база технологии ремонта газового оборудования и трубопроводных систем – это, прежде всего, заимствование способов и методов из технологии ремонта автомобильного транспорта и сельхозтехники. Над различными проблемами технологии и организации ремонта газового оборудования и трубопроводных систем работают многочисленные кафедры в вузах, ряд научно-исследовательских и проектных институтов и большое количество ремонтников-эксплуатационников газовой и энергетической отрасли промышленности (РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, ТЮМГНГУ, УхтГТУ, УфГНТУ, АлНИ, С-Пб. ГГИ, УралГГГА, УкрНИИГАЗ и др.). К настоящему времени накоплен достаточный опыт монтажа газопроводов и оборудования, позволяющий использовать его в ремонтной практике.

В ходе развития газэнергетики издавались отдельные книги, освещающие опыт работы ремонтников-эксплуатационников. Свои труды по обобщению накопленного опыта по техническому уходу и ремонту газовой аппаратуры посвятили Г.С. Андреев, А.С. Рагозин, А.И. Гордюхин, В.Д. Ошовский, А.А. Бусурин, А.А. Блоштейн и другие, по эксплуатации сооружений и ремонту газопроводов — Г.С. Андреев, П.П. Борадавкин, В.А. Багдасаров. В недавнее время сделана первая попытка обобщения опыта и достижения науки при создании учебного пособия для вузов «Основы технологии ремонта систем газотеплоснабжения» В. В. Масловским и И.И. Капцовым, И.В. Сокруто [65], которым пользуются не только студенты и преподаватели России, Украины но и стран СНГ.

Нами доказано, что не зная устройства и принципа работы оборудования, а также процессов, протекающих при эксплуатации газовой и

энергетической техники, трудно говорить о ее техническом состоянии, правильно выработать научный подход к выбору метода и способа восстановления ее работоспособности. Эти положения имеют решающее значение в понимании путей развития технологии ремонта разнообразного газоэнергетического оборудования и трубопроводных систем. Известно, что процессе эксплуатации газового оборудования и трубопроводных систем постепенно или внезапно происходит снижение физико-механических свойств материала деталей, их истирание, деформирование, смятие, коррозия, старение, перераспределение нагрузок и остаточных напряжений, проявление несправки соединений и др. Эти эффекты вызывают разрушение деталей и узлов. Практически любая неисправность газового оборудования является следствием изменения состава, структуры или физико-механических и химических свойств материала, изменения состояния их приповерхностного слоя, конструктивных форм и размеров деталей запорной газовой арматуры и др.

Срок службы газового оборудования, систем транспортирования и хранения газа зависит от износостойкости их деталей. Для нахождения правильных путей повышения износостойкости необходимо знать сущность явлений, связанных с трением и износом, анализируя условия работы деталей и узлов оборудования и систем энерготранспортирования. Учитывая важность этих проблем, ученые проводят в этом направлении большую научно-исследовательскую работу. Ведущее положение в этой области занимают институты Российской академии наук, отраслевые научно-исследовательские институты нефти и газа, а также другие научные учреждения и отдельные ученые.

Вопросами проектирования, сооружения и эксплуатации деталей систем транспортирования газа много занимается Российский государственный университет нефти и газа им. Губкина. Большую работу в области изучения процессов трения и изнашивания машин провели такие ученые, как Б.В. Дерягин, Б.Д. Грозин, Б.И. Костецкий, М.М. Хрущов,

А.К. Зайцев, И.В. Крагельский, А.С. Ахматов и др. Их исследования имеют большое значение для народного хозяйства, успешно позволяя решать вопросы повышения износостойкости деталей различных машин и оборудования [58, 98, 104, 105, 107, 109, 144, 145, 146].

Вместе с тем процесс трения в системах газоснабжения еще изучен недостаточно. Количественная зависимость в отдельных случаях, по существу, сводится к закону о прямой пропорциональности. Естественно, что ученые стремятся разобраться в этих сложных явлениях и установить какие же параметры и каким образом они влияют на износ деталей газового энергетического оборудования. Интересные сведения о технологической наследственности содержатся в трудах П.И. Ящерицына и его учеников. Именно технологическую наследственность после абразивной доводочно-притирочной обработки трубной арматуры практически эксплуатационниками недооценивается.

Несмотря на известные достижения науки, техники и технологии производства и ремонта машин, широкое их использование в газотранспортных производствах высокоэффективных и экологически безопасных материалов требует уточнений и доказательств.

1.4. Системный анализ эффективности использования трубной арматуры транспортных трубопроводных систем по технико-экономическим критериям

Результатом умственной деятельности в сфере информации по удовлетворению определенных потребностей народного хозяйства является изделие, а изготовление и эксплуатация – это деятельность с изделиями. Технологические и производительные процессы, объединяющие в единый комплекс транспортного средства, машины, оборудования, средств контроля, диагностирования и управления, представляют собой сложные динамические системы [111, 113, 181], обладающие собой определенной особенностью.

Особенность - это характерная черта чего-то по отношению к чему-то. Характерной особенностью большинства систем является явно выраженный и неопределенный характер функционирования, обусловленный случайными свойствами и характером взаимодействия внешней среды на технологические и производственные процессы, непостоянными во времени и пространстве, а также большой изменчивостью различных факторов во времени [9].

Известно, что степень пригодности трубопроводных транспортных систем и газового оборудования при использовании по назначению и возможности их технического обслуживания определяются эксплуатационными характеристиками и, прежде всего, их надежностью и долговечностью.

Надежность имеет две основные ветви: конструкционную и производственную или технологическую и эксплуатационную. В процессе эксплуатации на газовое оборудование и трубопроводные системы воздействует значительное число факторов, влияющих на их надежность. Такие факторы подразделяем на входные, управляемые и случайные:

- входные факторы связаны с проектированием и производством газового оборудования и трубопроводных систем, которые могут способствовать как поддержанию достаточно высокой надежности изделия, так и ее снижению. К ним относятся все мероприятия, связанные с выбором схемного и конструктивного решения при проектировании изделий, обеспечением качества изготовления деталей и сборки сопряжений и узлов, качества технического обслуживания и ремонта и др.;

- к управляемым факторам относятся характер приложения нагрузки и взаимодействие деталей, сопряжений и узлов оборудования, различные влияния внешней и внутренней среды, обуславливающие коррозионную обстановку на трубопроводах, техническое состояние сварных швов газового оборудования и трубопроводных систем в процессе их эксплуатации;

- к случайным факторам относятся нештатные ситуации на газопроводах и их сооружениях: небрежность эксплуатационников, которые

могут вызвать непровары, прожоги и другие дефекты при сварке; катаклизмы природы (осадки, оползни); попадание молнии в диагностическую систему, абразивов и влаги в трубопроводы; воздействие течений и т. д.

По характеру действия все факторы подразделяются на конструкционно-технологические, производственные и эксплуатационные.

К конструкционно-технологическим факторам относятся:

- рациональность конструктивных схем газового оборудования и систем транспортирования газа;
- количество и качество комплектующих элементов;
- правильность выбора материалов деталей;
- стандартизация и унификация узлов;
- возможность ремонта, контроля технического состояния изделия в целом и т. п.

Рассмотренные факторы обеспечивают надежность, неразрушимость и долговечность узлов и деталей на заданном уровне в процессах расчетного или директивного срока эксплуатации. В свою очередь, неразрушимость определяется необходимой прочностью, рассчитанной на испытательное рабочее давление перекачиваемого продукта, газа, нефтепродуктов и других энергоносителей [178]. Специфика работы газотранспортных систем и входящих в них компрессорных станций, аппаратов по очистке газа, запорной арматуры, приборов и других устройств, высокие давления (3,5-10МПа) при которых небольшие неплотности, микротрещины, свищи приводят в целом к большим потерям газа в процессе эксплуатации. Технологические операции, связанные с производством и ремонтом газотранспортных систем, требует учета многих факторов повышения надежности и долговечности всех конструктивных элементов газотранспортных систем.

В настоящее время наукой доказано, а практикой подтверждено, что несущую способность и надежность очень трудно заранее точно предсказать,

что явится причиной возможного разрушения трубопроводной системы, а значит, и определить их число и распределение во времени.

К производственным факторам можно отнести:

- выбор рациональной технологии производства и ремонта;
- качество исполнения технологических операций;
- культура производства, квалификация работников, техническое состояние технологического оборудования, степень автоматизации и т. п.);
- качество обработки материалов и монтажа систем;
- контроль на всех этапах производства.

К эксплуатационным факторам можно отнести:

- условия эксплуатации оборудования и систем транспортировки газа;
- планирование технического обслуживания и ремонта;
- совершенство технологии ремонта;
- квалификация обслуживающего и ремонтного персонала;
- контроль и прогнозирование технического состояния элементов и оборудования в целом.

Анализ достижений науки и передового опыта показал, что основными причинами снижения надежности и долговечности конструктивных элементов газотранспортных систем являются:

- деформация и износ материала;
- поломки деталей из-за усталостных явлений, возникающих под действием нагрузок;
- изменение размеров деталей в подвижных сопряжениях вследствие износа;
- проявление нарушений технологии при механико-обрабатывающих и сварочно-монтажных работах как при производстве, так и при ремонте;
- пиковые нагрузки и резкие колебания температуры;
- поломка отдельных деталей и узлов вследствие суммарного влияния внешних условий, износа, технологической наследственности, старения и усталости.

Известно, что трущиеся поверхности деталей составных частей и сборочных единиц трубной арматуры должны быть подготовлены к восприятию нагрузок посредством их испытаний. В процессе испытаний или так называемой обкатки происходит приработка сопрягаемых деталей прецизионной пары, в результате чего снижается шероховатость обработанной поверхности, идет разрушение шаржируемых зерен абразивно-доводочной смеси, а также частично устраняются отклонения макрогеометрии [32, 33, 34].

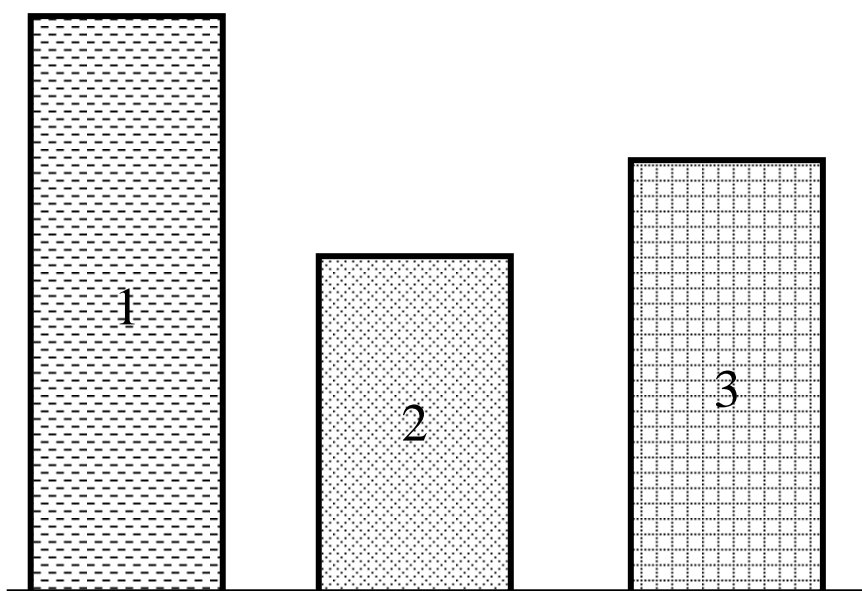


Рис.1.4 – Распределение отказов трубной арматуры:

1 – шаровые краны с пластмассовым уплотнением; 2 – шаровые металлические краны; 3 – пробковые краны

Характерные отказы газовой арматуры по данным котельно-механического завода приведены на рис. 1.4.

Проведенные исследования показывают, что наиболее часто встречающийся дефект шаровых пробковых кранов - износ (старение) пластмассового уплотнительного кольца, а пробковых кранов – абразивный

износ. Наибольшее количество дефектов, связанных с ухудшением герметичности, возникает в первый период эксплуатации (до 30-40%).

Одна из основных причин этих дефектов – неправильный выбор основных и вспомогательных материалов при конструировании и при осуществлении технологического процесса производства и ремонта.

К часто встречающимся отказам в первоначальный период можно отнести дефекты формы и размеров прецизионных пар кранов, вентилях. Нарушение технологии финишных операций, и, прежде всего, ведение процесса крупнозернистыми абразивными пастами и жесткими притирами резко ухудшает не только шероховатость поверхности, но влечет к неточности формы и размеров обрабатываемого изделия. В результате ведения доводочно-притирочных работ, например, кубанитовыми (эльбаровыми) абразивно-доводочными смесями мягкого металла прецизионной пары резко усиливается его шаржируемость. В итоге в ходе эксплуатации запорная часть арматуры быстрее изнашивается.

Неисправность вентиля может по этой причине возникнуть в пределах 2-3 месяцев его эксплуатации. Таким образом, еще раз можно указать на то, что процесс абразивной доводочно-притирочной обработки – это процесс, формирующий качество прецизионной пары. В процессе финишной доводочно-притирочной обработки крупный единичный инструмент, прочно закрепленный в гнезде и методически шаг за шагом обрабатывающий планомерно перемещающуюся перед ним поверхность, при абразивной доводочно-притирочной обработке заменен притиром, на поверхности которого находится множество абразивных зерен в сочетании с химически активными добавками, которые по разному воздействуют на обрабатываемую поверхность [30, 31]. Изучение данной проблемы дает основание утверждать, что в зависимости от плотности абразивной прослойки возможны три случая состояния технологической системы «притир – абразивное зерно – обрабатываемая поверхность». Для упрощения поставленной задачи применяется ряд допущений:

- марка материала, их твердость, шероховатость, точность будут для притира и обрабатываемой детали во всех трех случаях постоянными;

- крупность абразива, состав жидкой фазы абразивно-доводочной смеси и режим обработки, также будут аналогичным, переменный будет концентрация.

Исходя из чего, проанализируем как и каким образом, влияние концентрации микропорошка отражается на эффективности обработки. Раньше указывалось на то, что съем металла абразивными зернами в единицу времени зависит не только от глубины этих царапин, но и от количества их на единице площади. При этом рассматривается каждое абразивное зерно как один резец, эффект обработки зависит не только от мощности зерен-резцов, но и от количества одновременно действующих зерен-резцов на обрабатываемый материал [24]. В конечном итоге данный факт существенно сказывается на износостойкости прецизионных пар арматуры.

Комплексной оценкой эффективности потерь газа при снижении гидравлического состояния и очистке газопроводов И.И. Капцовым уделено должное внимание [5]. Оценивая показатели затрат и потерь газа, автор анализирует известную основную плановую калькуляционную единицу на магистральном транспорте газа и приходит к выводу. Отсутствие показателя транспортной работы затрудняет экономический анализ и перспективное планирование внутри отрасли. Кроме того, транспортная работа учитывает дальность передачи газа, дает возможность проводить квалифицированный анализ и сопоставление экономических показателей различных газопроводов:

$$W = \sum_{j=1}^{j=n} q_j l_j \quad (1.1)$$

где W - транспортная работа по магистральному газопроводу; n - число участков газопровода; q_j - количество газа, транспортируемого до отдельных потребителей; l - расстояние транспортировки газа до потребителя.

Далее уточняется следующее: недостатком этого показателя является то, что он не учитывает энергетику транспорта газа по магистральным газопроводам, которая отражает эффективность работы агрегата, компрессорной станции, трубной арматуры и газопровода в целом.

Особенность работы магистральных газопроводов - неравномерная их загрузка в течение года. Колебания пропускной способности газопроводов определяют и характеризуют особенности работы компрессорных станций и, в частности, отдельных газоперекачивающих агрегатов (ГПА), установленных на них. Для комплексной оценки работы компрессорных станций (КС) и всего газопровода необходимо применять не один, а систему энергетических показателей. Так, например при оценке работы компрессорных станций одного и того же магистрального газопровода случается, что они перекачивают почти одинаковое количество природного газа, но затрачивают на транспорт газа различную мощность. Это объясняется многими причинами: различными характеристиками газопроводов; условиями эксплуатации ГПА в разных климатических поясах; неодинаковым гидравлическим состоянием участков газопроводов между КС; различной степенью повышения давления по газопроводу на каждой КС и др. Поэтому к основным энергетическим показателям трубопроводного транспорта природных газов следует отнести: пропускную способность газопровода; суммарную мощность газоперекачивающих агрегатов; удельный расход энергии; удельный расход топливного газа; коэффициент полезного действия (к.п.д.) энергопривода, включая и газовую арматуру.

Далее доказывается то, что практически достаточно удобной характеристикой удельных расходов энергии в условиях трубопроводного транспорта газа следует считать расход энергии, отнесенный к перемещению единицы массы или объема газа на единицу длины:

$$\omega = \sum_{j=1}^{j=n} N_{ej} : \sum_{j=1}^{j=n} G_j L_j \quad (1.2)$$

где ω — удельный расход энергии; N_{ej} — эффективная мощность энергопривода нагнетателей на КС; G_j — количество транспортируемого газа по газопроводу на каждом участке КС; L_j — длина участка магистрального газопровода между соответствующими КС.

Предлагается формула, по которой мощность энергопривода для определения внешнеадиабатического или изопотенциального процесса [2] сжатия:

$$N_e = \int \frac{1}{\eta_{ad}} G_c dW = -\frac{1}{\eta_{pv}} G_c \int v dp = -\frac{1}{\eta_{pv}} G_c \int p_1 v_1 \frac{dp}{p} = \frac{G_c}{\eta_{pv}} z_1 R_1 T_1 \ln p_1 / p_2 = \frac{G_c}{\eta_{ad}} z_m R_m T_m \ln p_1 / p_2$$

где η_{ad} — приведенный относительный адиабатический к.п.д. — отношение обратимой адиабатической работы сжатия к эффективной работе сжатия; G_c — массовый секундный расход газа; dW — потенциальная работа потока газа после КС; η_{pv} — приведенный относительный изопотенциальный к.п.д. — отношение обратимой работы сжатия в изопотенциальном процессе ($pv = \text{idem}$); v — удельный объем газа; p_1, p_2 — соответственно начальное и конечное давление процесса сжатия на КС; v_1, z_1, T_1 — соответственно удельный объем, коэффициент сжимаемости и абсолютная температура газа до сжатия; R_r — газовая постоянная; z_m, T_m — средние в процессе сжатия соответственно коэффициент сжимаемости газа и абсолютная температура.

Потенциальная работа потока газа после компрессорных станций $\delta W = -v dp$ распределяется на удельную эффективную работу потока δW^* и необратимые потери работы при движении газа по газопроводу δW^{**} :

$$\delta W = \delta W^* + \delta W^{**} \quad (1.4)$$

Удельная эффективная работа потока δW^* транспортируемого газа затрачивается на изменение энергии внешнего положения потока кинетической dE_C и потенциальной в поле тяготения dE_z :

$$\delta W^* = \frac{dE_C + dE_z}{G_C} = d \left(\frac{c^2}{2g_n} \right) + \frac{g}{g_n} dz_{\Gamma'} \quad (1.5)$$

где c — линейная скорость газа в газопроводе; g, g_n — истинное и стандартное ускорение свободного падения на участках трассы; z_{Γ} — уровень подъема участков трассы газопровода (рис.1.5).

Необратимые потери работы всегда имеют положительный знак, так как работа непосредственно превращается при движении потока в газопроводе в тепло внутреннего теплообмена:

$$\delta W^{**} \rightarrow \delta Q^{**}; \delta W^{**} = \delta Q^{**}. \quad (1.6)$$

Необратимые потери работы зависят от режима и структуры потока, шероховатости внутренней поверхности труб, наличия загрязнений и других местных сопротивлений (имеем ввиду и наличие трубной арматуры):

$$\delta W^* = -v dp^{**} = \frac{c^2}{2g_n} \left(\frac{\lambda_{\Gamma}}{D} + \frac{d\zeta}{dx} \right) dx; \quad (1.7)$$

$$\frac{dp^{**}}{dx} = -\frac{\chi^2}{2g_n} \left(\frac{\lambda_{\Gamma}}{D} + \frac{d\zeta}{dx} \right) = \frac{u^2 v}{2g_n} \left(\frac{\lambda_{\Gamma}}{D} + \zeta' \right) \quad (1.8)$$

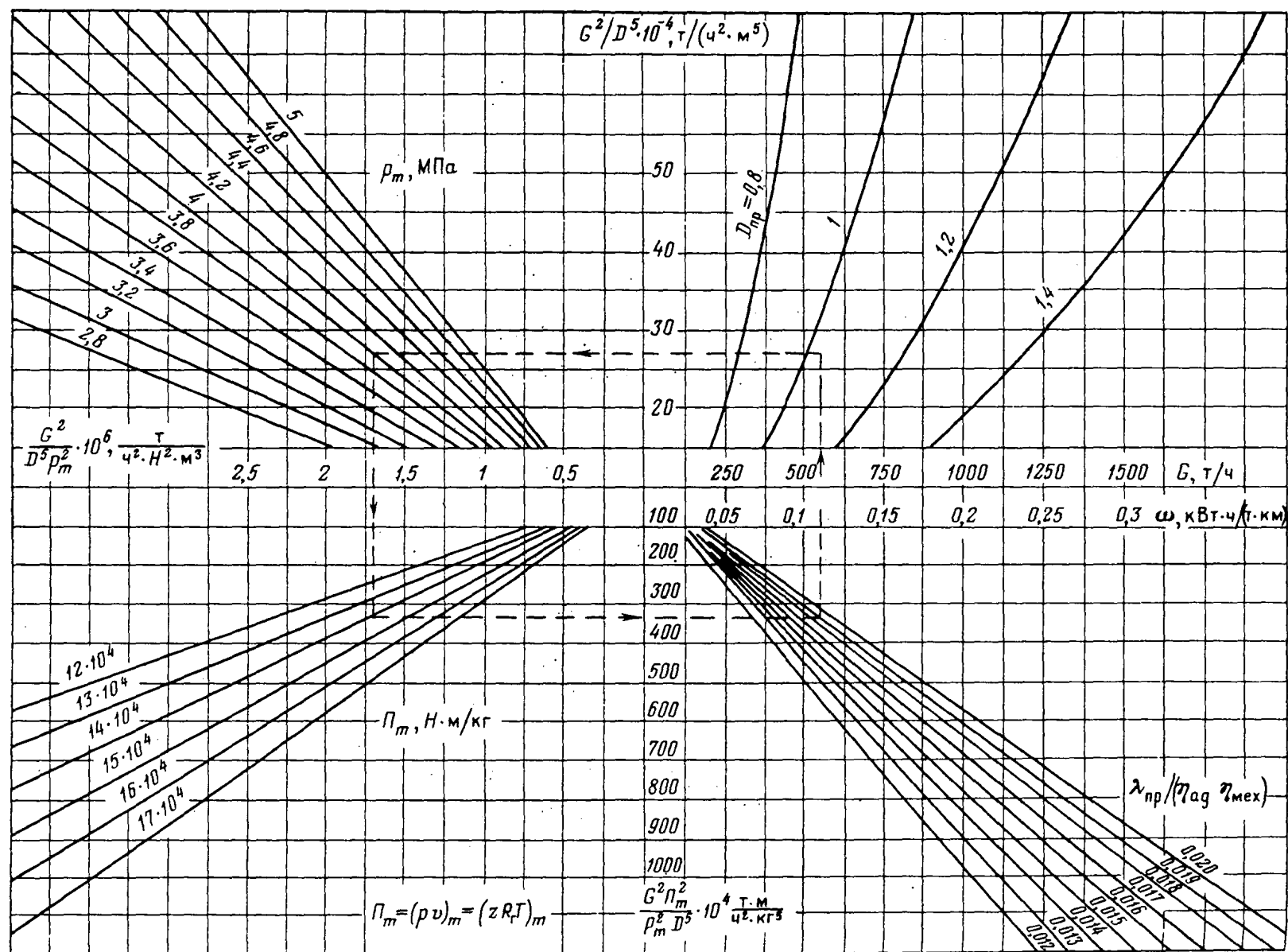


Рис.1.5– Номограмма для определения удельного расхода энергии на транспорт газа

где λ_{Γ} — коэффициент гидравлического сопротивления трубы; D — диаметр газопровода; $\zeta' = \frac{d\zeta}{dx}$ — коэффициент, учитывающий загрязнения и другие местные сопротивления, отнесенные к единице длины газопровода; u — массовая скорость потока газа.

После чего автор интегрированием и некоторым преобразованием уравнения, получает формулу:

$$\ln \frac{p_1}{p_2} = \frac{z_m R_{\Gamma} T_m}{2 g_n p_m^2} u^2 \frac{\lambda_{\Gamma m} l}{D}; \quad (1.9)$$

$$\lambda_{\Gamma m} = \lambda_{\Gamma} + \frac{\zeta D}{l}; \quad (1.10)$$

$$p_m = \sqrt{\frac{1}{2}(p_1^2 + p_2^2)} \quad (1.11)$$

Решая уравнения, И.И. Капцов [5] получает выражение мощности с учетом параметров газопровода:

$$N_e = \frac{1}{\eta_{ad}} \cdot \frac{z_m^2 R_{\Gamma}^2 T_m^2 G_c^2}{2 g_n p_m^2 f^2} \cdot \frac{\lambda_{\Gamma m} l}{D} = \frac{m}{\eta_{ad}} \cdot \frac{z_m^2 R_{\Gamma}^2 T_m \lambda_{\Gamma m} l}{p_m^2 D^5} G_c^3, \quad (1.12)$$

где f — площадь сечения газопровода; m — масштабный множитель, учитывающий размерность членов уравнения.

Подставив уравнение (1.8) в выражение (1.2), получим формулу удельных расходов энергии w на магистральный транспорт газа:

$$w = \frac{m}{\eta_{ad}} \frac{\Pi_m^2}{p_m^2} \frac{\lambda_{\Gamma m}}{D^5} G^2, \quad (1.13)$$

где $\Pi_m = z_m R_{\Gamma} T_m$ — потенциальная функция; G — расход газа.

Для практического, применения уравнения (1.12) построена номограмма (рис. 1.5), позволяющая устанавливать и определять значения удельных расходов энергии на транспорт в зависимости от расхода транспортируемого газа G , приведенного диаметра трубопровода D , среднего давления в газопроводе p_m ; среднего значения потенциальной функции P_m и комплекса $\lambda_{np} / (\eta_{ad} \cdot \eta_{mex})$.

Автором также предложены варианты определения обобщенного энергетического показателя работы газопровода и удельный расход газа, а также технология устранения утечки газа в магистральных газопроводах.

Очень интересные сведения содержатся в работе А.С. Полянского, которые рассматривают экономическую оценку надежности сельхозтехники при техническом обслуживании и ремонте [131, 132, 133, 134]. Анализируя стандарт Американского общества инженеров сельского хозяйства, приводятся такие рекомендации, что для оценки надежности, в частности, ремонтпригодности сельскохозяйственных тракторов, использовать удельный показатель, определённый как отношение суммарных затрат на техническое обслуживание и ремонт за наработку 10000 часов к их первоначальной цене [17, 18, 21, 25, 28, 35]. Этот показатель (обозначим его η) определяется как

$$\eta = \frac{z_{TOP}}{C_0} \quad (1.14)$$

где z_{TOP} – затраты на ТО и ремонт трактора за 10000 ч,

C_0 - цена нового трактора.

Для отечественных тракторов в диапазоне мощностей от 40 до 160квт. значение коэффициента η находится в пределах 2,0 и более.

Увеличение затрат на ТОР происходит не пропорционально наработке трактора. Для определения этих затрат в упомянутом, стандарте приведена следующая формула:

$$З_{ТОР} = Ц_0 \cdot (K_1 \cdot K_2 \cdot t), \quad (1.15)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты, зависящие от особенностей ТОР машины,
 t - наработка машины к моменту расчета в тыс.ч, на 1000 ч.

Результаты расчётов по приведенной формуле отечественных и зарубежных машин выглядят следующим образом: первые 3000 ч затраты на ТОР зарубежных машин не превышают 10%, отечественных - 45% первоначальной цены машины, за 5000 ч - зарубежных достигают 30% отечественных - превышают полную стоимость и составляют 110%, а за 7000ч - почти полной ее стоимости (рис.1.6).

По другому удельному показателю ремонтнопригодности – трудоемкости ТО приводятся также цифровые данные. В качестве обобщенного показателя экономической эффективности нормативными документами рекомендуется использовать показатель абсолютного экономического эффекта \mathcal{E}_T , который рассчитывается как разность между суммарными результатами в денежном выражении P_T и затратами S_T - на осуществление мероприятия научно-технического прогресса за расчетный период Т:

$$\mathcal{E}_T = P_T - S_T \quad (1.16)$$

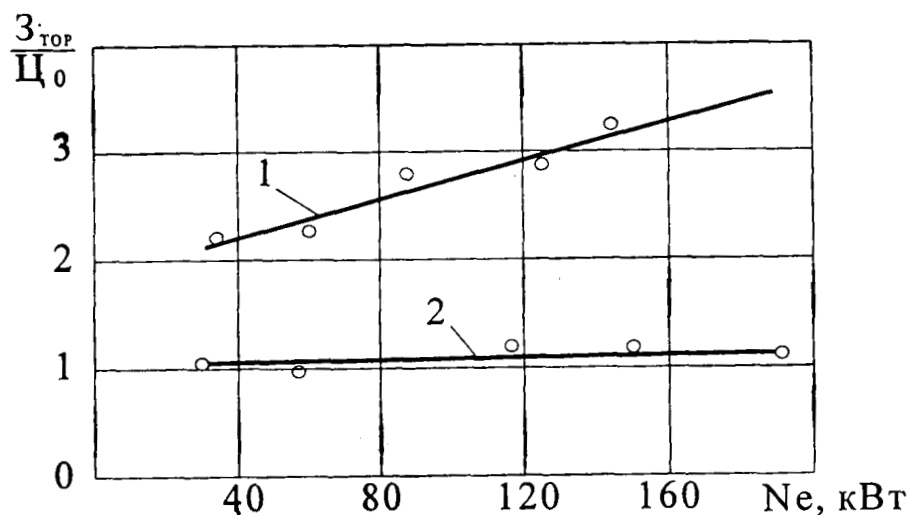


Рис.1.6 – Изменение отношения суммарных затрат на техническое обслуживание и ремонт тракторов за 10000 ч работы к первоначальной цене:

1 - отечественные, 2-зарубежные

Если имеется несколько вариантов конструктивно-технологических решений, обеспечивающих разный уровень надежности, то по каждому варианту надо рассчитать затраты, результаты и экономический эффект. Лучшим признается вариант, при котором абсолютный экономический эффект максимальный [49,50]. По-видимому, при экономическом анализе надежности вариантов во многих случаях не обойтись без обеспечения их тождественности по стоимостной оценке результатов, что представляет интерес для решения проблемы в газотранспортировке.

1.5 ВЫВОДЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании изучения состояния вопроса можно сделать следующие выводы:

- проблема обеспечения технологической надежности, связанной с бесперебойной доставкой расчетного количества продукта в конечный пункт, сложна и многогранна. Здесь неоптимизированных проблем больше, чем в случае конструктивно-технологической надежности. Причем потери от утечки энергоносителя и затраты на поддержание в безопасном и надежном состоянии трубопроводных транспортных систем и газового оборудования

превышают более, чем в 2-3 раза по сравнению с затратами на их проектирование и создание;

- отечественный и зарубежный опыт эксплуатации транспортных трубопроводных систем показывает, что имеется вероятность возникновения некоторого количества неисправностей новых и отремонтированных агрегатов, узлов газотранспортных систем по причинам технологической наследственности. Одна из важнейших задач технологии производства и ремонта, например, запорной трубной арматуры – повышение износостойкости прецизионных пар при эксплуатации, обеспечивающий снижение утечки энергоносителя в процессе его транспортирования по трубопроводам и сокращение продолжительности ремонтно-восстановительных работ;

- характерной особенностью данного периода работы газотранспортных систем и оборудования является наличие в условиях эксплуатации узлов и агрегатов с далеко превышающих гарантированные сроки их эксплуатации; недооценка роли морального износа трубной арматуры. Неблагоприятная экономическая конъюнктура, отсутствие в ряде эксплуатационных газовых хозяйствах прогрессивных на перспективу ремонтных технологий и промышленных ремонтно-механических баз способствуют ухудшению технического состояния из-за снижения объемов и качества ТО и ТР. Растут требования к надежности, поскольку высокая цена на материалы, трубы, агрегаты и другие запасные части, часто с ТО и ремонт становятся для многих производственных подразделений недоступными:

- для повышения эффективности работы газотранспортных систем и надежности отдельных конструктивных элементов необходимо учитывать факторы, формирующие технологическую надежность конструктивных элементов транспортных систем и оборудования на всех этапах их проектирования, производства и эксплуатации;

- системный подход к выбору того или иного метода обеспечения надежности – эта оценка фактического технического состояния, которая требует рассмотрения как целенаправленный процесс управления надежностью и долговечностью работы трубопроводной транспортной системы. Системный анализ и комплексная оценка

достигаемого уровня надежности и затрат на обеспечение работоспособности запорной трубной арматуры, позволят сформулировать основную цель диссертационной работы – это повышение эффективности использования конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем за счет разработки теоретических основ формирования надежности и теоретико-экспериментальных исследований, направленных на повышение качества и экологической безопасности вспомогательных материалов, используемых в технологических целях при их производстве и ремонте.

Для достижения поставленной цели необходимо решить такие основные задачи:

- проанализировать особенности транспортных трубопроводных газовых систем, место конструктивных элементов в плане раскрытия проблем надежности и долговечности трубной арматуры на этапе создания и эксплуатации;
- теоретически обосновать аспекты формирования надежности элементов транспортных трубопроводных систем и затрат на техническое обслуживание и ремонт;
- разработать общую стратегию обеспечения эксплуатационной надежности трубной арматуры транспортных трубопроводных систем по критериям технологической наследственности;
- теоретически обосновать прогноз управления качеством и экологической безопасностью вспомогательных материалов технологического назначения;
- разработать общие принципы определения функционально-технического состояния транспортной трубопроводной системы на примере трубной арматуры.

Необходимо разработанные методы, математические модели, алгоритмы прогнозирования показателей эксплуатационной надежности конструктивных элементов трубопроводных систем и материалов, используемых при производстве и их ремонте должны быть экспериментально подтверждены и иметь практическое применение.

РАЗДЕЛ 2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ЭТАПАХ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА

2.1. Методологическое обеспечение надежности агрегатов трубопроводных транспортных систем

Основными считаются те параметры деталей, оборудования и систем, которые решающим образом влияют на их надежность. Если понятие надежности предусматривает безотказную работу изделия, то это возможно лишь в случае, если параметр, определяющий безотказность работы, находится на должном уровне [59,67,89,90,102,103]. В связи с высокими требованиями к качеству и надежности элементов трубопроводных энергетических систем должен существенно меняться подход к конструированию, технологии изготовления, проведению профилактических и ремонтных работ (рис.2.1). Это обусловлено тем, что трубопроводную энергетическую систему рассматриваем как «стареющую» систему, параметры каждого ее элементов изменяются в результате изнашивания, разрегулирования приборных устройств, усталости и старения материалов. Специфическими особенностями формирования свойств надежности трубопроводных энергетических транспортных систем являются:

- фактор времени, оценивающий изменение первоначальных параметров в процессе эксплуатации всех элементов трубопроводной системы;
- прогнозирование уровня надежности технического состояния по оценкам эксплуатационных характеристик.

Основная трудность при оценке надежности трубопроводных транспортных систем заключается в том, что необходимо иметь такие

методы расчета и источники информации об изменении работоспособности ее элементов, которые позволили бы прогнозировать поведение, в частности, трубной арматуры в различных условиях эксплуатации.

Наука о надежности не рассматривает вопросов достижения определенного уровня показателей качества изделий, их точности, изготовления, работоспособности, производительности – это задача других наук, а рассматривается процесс изменения этих показателей во времени [106, 110, 114, 120, 121, 129, 130].

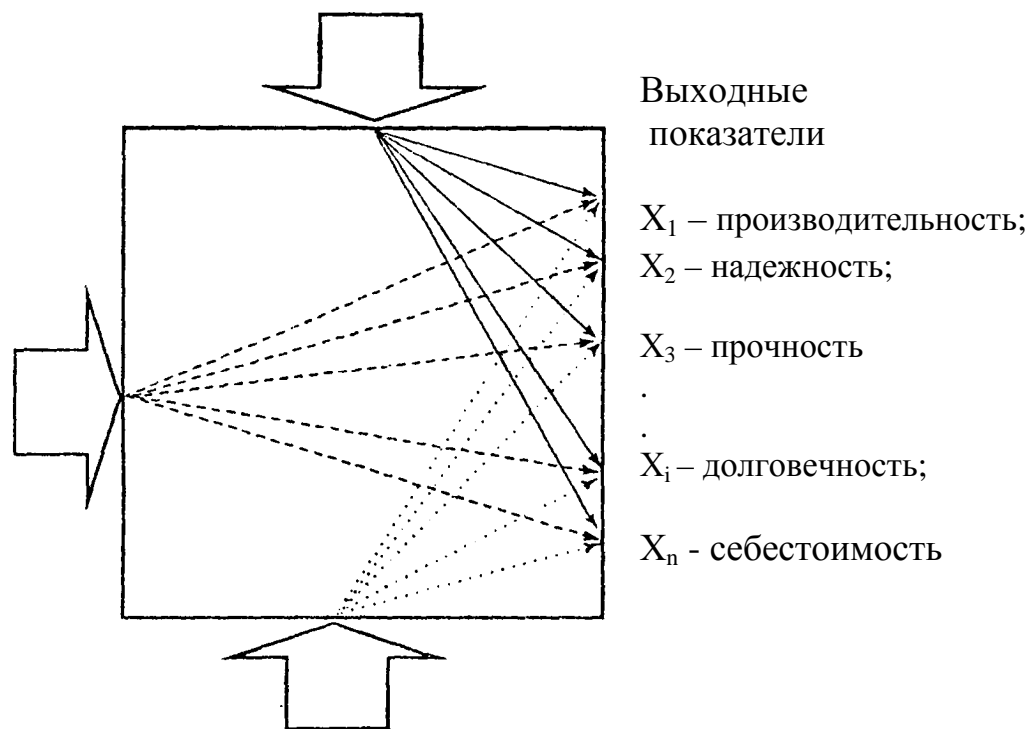
Как всякая отрасль знаний, наука о надежности базируется на фундаментальной науке, разделы и теоретические разработки которой способствует решению поставленных задач.

Особое значение для науки о надежности, как и для любой науки, имеет вопрос применения математического аппарата и привлечение уже разработанных методов, позволяющих осуществить оценку качества транспортных трубопроводных систем [96, 97].

Трубопроводную энергетическую систему и ее конструктивные элементы нельзя изолировать от влияния среды, в которой они работают, от влияния процессов, которые протекают в них самих при осуществлении рабочих функций, от действия остаточных явлений, технологических процессов изготовления изделий. Воздействуя на рабочие поверхности, сопрягаемых деталей любой системы, они вызывают в ней обратимые и необратимые процессы по ускорению износа, снижающие начальные характеристики, в частности, трубной арматуры.

Входные факторы конструкторско-технологического характера: материал и его свойства; форма и размеры детали, узла; качество изготовления и сборки и др.

Управляемые факторы эксплуатационного характера: нагрузки, взаимодействие деталей и узлов, влияние внешней и внутренней среды; техническое состояние обработанных поверхностей, режимы эксплуатации трубопроводных систем



Случайные факторы, вызванные несоблюдением правил технической эксплуатации или внешними ситуациями: высокие и низкие температуры, окружающая среда, молнии и катаклизмы природы; аварии по причине сторонних лиц и др.

Рис.2.1 – Формализованная модель основных факторов, определяющих технический уровень энергетических транспортных систем

Исследовать эти процессы, связанные с надежностью и долговечностью работы конструктивных элементов трубопроводных энергетических систем, считаем целесообразно с позиции теории наследственности, позволяющей более полно изучить основные закономерности явлений, для которых фактор времени является существенным [173]. Тем более, что вопросам расчета надежности трубопроводных систем уделялось большее внимание [179, 181].

2.2. Теоретические аспекты свойств надежности техники и технологии на стадии производства

Особенность выполненных исследований – апробации и внедрение разработок, охвативших большое разнообразие отраслей народного хозяйства, а также использование разработанных предложение при производстве и ремонте арматуры, двигателей, теплообменников и других деталей, узлов и агрегатов машин, оборудования. Это связано с тем, что запорная трубная арматура имеет самое широкое применение в разнообразной технике, а формирование свойств ее надежности во многом происходит под воздействием применяемого вспомогательного материала при производстве и ремонте изделий.

Важнейшей технологической операцией процесса изготовления и ремонта трубопроводной арматуры является доводка и притирка. Особенность технологии производства и ремонта заключается в том, что в структуре технологического процесса обязательно должны быть моечно-очистные операции (рис.2.2) от количества и качества используемых вспомогательных материалов зависит не только экологическая безопасность производства технологического процесса, но оказывает влияние на формирование свойств надежности изделий под воздействием эксплуатационной наследственности.

Общеизвестно, что химико-механический износ характеризуется сопровождением химических процессов, которые могут усиливаться или уменьшаться под воздействием вспомогательного материала. Явление коррозии имеет весьма существенное значение в износе деталей транспортных трубопроводных систем, коррозия возникает в результате воздействия различных примесей, присутствующих в газовой среде и при сгорании топлива, а также в результате действия сернистых газов при высоких температурах, паров воды при мойке и очистке.

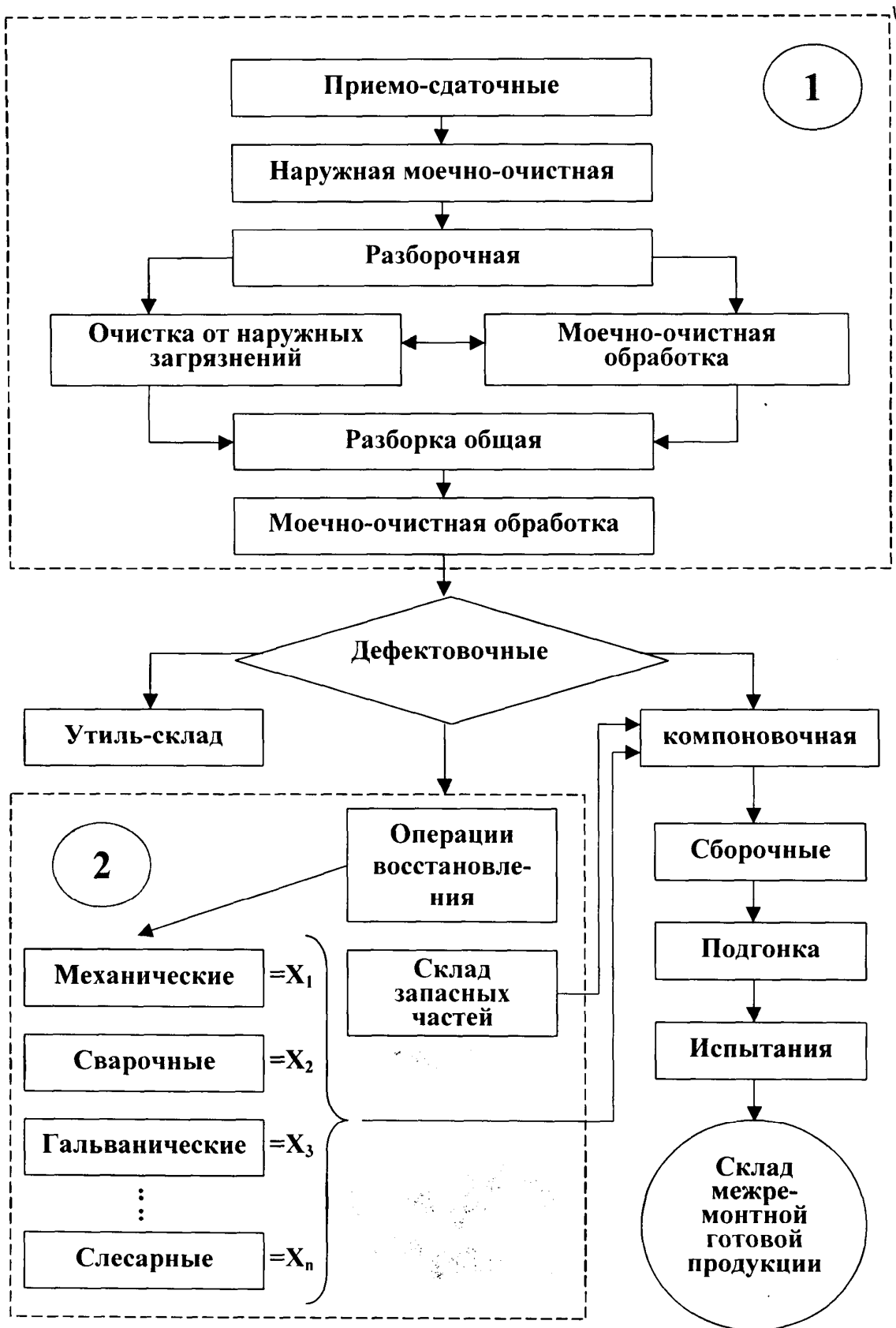


Рис.2.2 – Типовая схема технологического процесса ремонтного производства

При эксплуатации газового оборудования возникают следующие виды коррозии: атмосферная, электрохимическая, жидкостная и коррозия при высоких температурах, в состав которых входит арматура.

Причиной атмосферной коррозии является влажность воздуха, особенно при наличии сероводорода. При осуществлении моечно-очистных работ может появляться жидкостная коррозия из-за присутствия в воде воздуха, временного в воде содержания минеральных веществ, имеющих растворы минеральных солей, кислот и щелочей.

Водяные растворы представляют собой электролиты, которые, взаимодействия с металлом, вызывают активную коррозию. Исходя из чего, нами с целью повышения надежности и экологической безопасности при производстве и ремонте разнообразной техники, разработаны и внедрены высокоэффективные экологически безопасные водные растворы на основе «ТМОК» [152, 153, 154, 156].

Очень важным моментом в формировании свойств надежности разнообразной трубной арматуры, входящей в транспортные энергетические системы, имеют способ и метод производства финишных операций, а также проведение приработки прецизионных пар высокоточных изделий.

В соответствии с действующим стандартом Украины (ДСТУ 2860-94) приработка рассматривается как процесс повышения показателей безотказности объекта, использующий функционирование каждого изделия в предписывающих окружающих условиях с его успешным неплановым ремонтом после каждого отказа в течение периода ранних отказов.

При осуществлении доводочно-притирочных работ при неправильном выборе абразивной смеси происходит процесс «шаржирования» обрабатываемой более мягкой поверхности, что является причиной появления эксплуатационной наследственности. Это является разновидностью механического износа, который обуславливается присутствием в сопряженных частях деталей абразивных частиц. При техническом обслуживании арматуры трубопроводных систем возможны случаи, когда инородные твердые частицы с большой скоростью могут двигаться по трубопроводу. Наличие абразивных частиц в трубопроводе при активном химическом

воздействии на металл газовой среды создает условия быстрого его износа [116, 126, 151, 155, 159, 160].

В связи с тем, что каждая деталь имеет ведущий вид износа, она будет иметь наиболее изнашиваемую поверхность обязательно там, где этот вид износа проявляется. Отчетливо выраженный вид износа обычно определяет износостойкость детали, характер и скорость его износа. Основываясь на этом в практике эксплуатации любой техники введены понятия «допустимые» и «предельные» износы. Для управления надежностью высокоточных изделий - трубной арматуры проанализируем «допустимый» и «предельный» износ, рассматривая кривую износа наиболее общего случая естественного механического износа в результате работы сил трения (рис.2.3). Горизонтальная ось отображает время работы детали в часах, вертикальная - величину износа.

Показанная кривая справедлива для большинства сопряженных пар трубной арматуры, работающих в установившемся режиме, и имеет три особо выраженных участка: начальный криволинейный участок I, характеризующий процесс приработки нового сопряжения; прямолинейный наибольший по протяженности участок II, соответствующий промежутку времени нормальной работы сопряжения, то есть происходит естественный износ, и криволинейный участок III, соответствующий промежутку времени разрушения сопряжения вследствие износа его сверх допустимого предела (предельный износ).

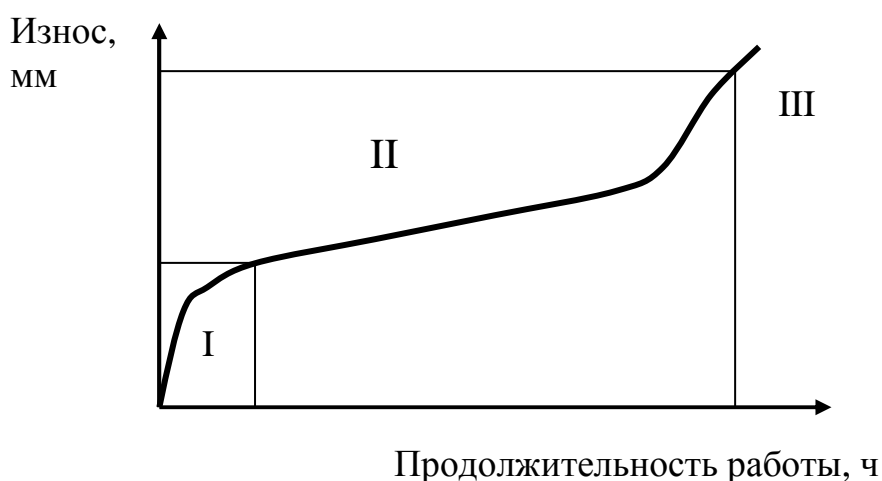


Рис.2.3 – Типовая кривая износа деталей

Исходя из чего, следует рассмотреть некоторые методические принципы прогнозирования параметров управления надежностью трубной арматуры.

2.3. Задачи определения технического состояния трубной арматуры энергетических транспортных систем

Важнейшей задачей является выделение и описание системы, которая исследуется для установления конечных свойств объекта в зависимости от его свойств на предшествующих этапах. Такая система состоит из элементов и связей между ними. Решение сложных вопросов обеспечения надежности конструктивных элементов транспортных трубопроводных энергетических систем во многом зависит от того, как учитываются требования и соблюдаются важнейшие принципы комплексного и системного подхода к ее оценке [169, 170]. При изучении явлений технологической наследственности может быть использован корреляционный анализ, где получаемая с помощью расчетов автокорреляционная функция показывает степень наследования двух случайных величин. Применительно к условиям формирования свойств надежности пробковых кранов трубных систем, например, шлифовании можно определить влияние исходного профиля шероховатости на шероховатость финишной обработки. Такая задача решается на основе экспериментальных данных с использованием нормированной взаимокорреляционной функции связи [137, 142, 147]:

$$K_{R_{III}R_B}(\Delta l) = \frac{M[y_{III}(l_i)y_B(l_{i+m})]}{\sigma_{III}(l_i)\sigma_B(l_i)}, \quad (2.1)$$

где $K_{R_{III}R_B}(\Delta l)$ – взаимная корреляционная функция связи шлифованного и притертого профилей;

$M[y_{III}(l_i)y_B(l_{i+m})]$ – математическое ожидание произведения центрированных профилей;

$y_{III}(l_i)$ – текущее центрированное значение координаты точки профиля шлифованной поверхности на участке l_i ;

$y_B(l_{i+m})$ – текущее центрированное значение координаты точки профиля выглаженной поверхности на участке l_{i+m} ($m = 0, 1, 2, 3 \dots$);

$\sigma_{III}(l_i)$ – среднее квадратичное отклонение координат шлифованного профиля для любого участка поверхности l_i ;

$\sigma_B(l_i)$ – среднее квадратичное отклонение координат выглаженного профиля для любого участка поверхности l_i .

Анализ экспериментальных данных показал, что профиль притертой поверхности имеет наследственную связь с профилем исходной, в частности, шлифованной поверхностью. С помощью анализа удалось установить, что для определенных условий шлифования и последующего притертого образца в 600 случаях из 100 на месте вершины микропрофиля шлифованной поверхности будет вершина микропрофиля притертой поверхности, а также установить влияние неровности на образование соседних неровностей [163]. Корреляционный анализ удобен для описания количественной стороны технологического наследования особо точных прецизионных пар шаровых и пробковых кранов. Однако использование метода корреляционного анализа требует большого количества фактических замеров, что представляет существенные трудности, особенно для оценки высокоточных деталей трубной арматуры энерготранспортных систем в условиях эксплуатации.

Для оценки технического состояния по обеспечению надежности трубной арматуры предлагается метод, исходной информацией которого являются паспортные данные на изделие, математические модели и

экспериментальные результаты характеристик в функции от величины износов (дефектов) запорной части.

В практике эксплуатационных газознергетических производств обычно оценивают техническое состояние трубной арматуры по данным паспортов (сертификатам) и фактической работоспособности:

- новый или отремонтированный трубный элемент с наличием дефектов запорной части, величина и скорость изменения которых не превышает пределы;

- неисправный трубный элемент с наличием износов, то есть дефектов запорной части, величина из которых выходит за пределы допустимой надежности по герметичности [47, 63, 82, 95];

- находящийся в эксплуатации трубный элемент, требующий поверки на надежность, хотя бы один из оценочных критериев эксплуатационной надежности выходит за предел допуска.

Теоретический анализ оценки эксплуатационной надежности по двум типам характеристик трубной арматуры (паспортные и испытательные) требуют ввести еще один тип характеристик – это истинно фактическое. Эти характеристики надежности определяются значениями конкретных дефектов на момент измерения параметров запорной арматуры и предназначены для вычисления достоверности и фактических приведенных характеристик. Истинные фактические характеристики рассчитываются с помощью той же газодинамической модели, что и остальные приведенные характеристики при нулевых погрешностях каналов измерений параметров запорной трубной арматуры.

Погрешность расчета фактических приведенных характеристик оценивается относительно истинных фактических по приведенной степени сжатия и политропному КПД в функции от приведенной объемной пропускной способности.

Данный метод опирается на определение конечного множества обобщенных дефектов запорной части $\{D_j\} \quad j = \overline{1, ND}$ и нахождение для каждого элемента этого множества (вида обобщенного дефекта) пары расчетных характеристик: приведенной степени герметичности (сжатия) и политропного КПД в функции от величины этого вида дефекта и приведенной пропускной способности.

$$\varepsilon_{np} = \varepsilon_{np}^p(D_j, Q_{np}), \quad (2.2)$$

$$\eta_{пол} = \eta_{пол}^p(D_j, Q_{np}). \quad (2.3)$$

Для каждого измерения параметров X_i на основе расчета параметров трубной арматуры и вычисляются политропный КПД $\eta_{пол}(X_i)$ и приведенная степень герметичности нулевого приближения $\varepsilon_{np}^0(X_i)$ при Q_{np} равном $0,5 \cdot (Q_{\min} + Q_{\max})$, где Q_{\min}, Q_{\max} – минимальное и максимальное значения диапазона изменения Q_{np} . Далее для каждого вида обобщенного дефекта D_j на основе расчетных приведенных характеристик методом последовательных приближений удастся решить систему уравнений [2, 10, 37]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{np}^S(X_i) &= f_\varepsilon(X_i, Q_{npi,j}^S), \\ \varepsilon_{np}^S(X_i) &= \varepsilon_{np}^p(D_{i,j}^S, Q_{npi,j}^S), \\ \eta_{пол}(X_i) &= \eta_{пол}^3(D_{i,j}^S, Q_{npi,j}^S) \end{aligned} \quad (2.4)$$

где S – номер приближения, f_ε – функция, определяющая зависимость приведенной степени герметичности (точности) от вектора изменений X_i и приведенной пропускной способности (производительности).

Решая систему уравнений (2.4) можно найти значения

$$D_{i,j}(X_i) = D_{i,j}^S, \quad Q_{npi,j}(X_i) = Q_{npi,j}^S,$$

если

$$\left| D_{i,j}^{S-1} - D_{i,j}^S \right| < \delta D, \text{ и}$$

$$\left| Q_{npi,j}^{S-1} - Q_{npi,j}^S \right| < \delta Q_{np}.$$

где δD и δQ_{np} – константы, определяющие требуемую точность решения системы уравнений.

В результате решения этой системы уравнений формируется массив значений обобщенных дефектов $\{D_{i,j}(X_i)\} \quad i = \overline{1, NI}, j = \overline{1, ND}$.

Применению формулы (2.4) могут быть препятствием следующие причины:

- погрешности измерения параметров надежности эксплуатации трубной арматуры по одному и большему числу критериев оценки превышают допустимые, то есть транспортная система находится в предаварийной ситуации;

- комплекс погрешностей измерений транспортируемого энергоносителя на входе и выходе любого конструктивного элемента трубопроводной системы таковы, что вычисленные значения $\varepsilon_{np}^S(X_i)$ и $\eta_{пол}(X_i)$ лежат вне области значений, определяемых расчетными приведенными характеристиками;

- обобщенный дефект, для которого решается система, существенно отличается от наиболее распространенных конкретных дефектов запорной части.

Вычислив массивы значений обобщенных дефектов для всей серии измерений $\{D_{i,j}(X_i)\} \quad i = \overline{1, NI}, j = \overline{1, ND}$, осуществляется критериальный выбор обобщенного дефекта D_C из множества $\{D_j\} \quad j = \overline{1, ND}$, обеспечивающего максимум достоверности оценки надежности энерготранспортной системы.

В оценке меры объективного соответствия, характеризующей достоверность, принята функция отклонения вычисленного значения

обобщенного дефекта $\{D_{i,j}(X_i)\}$ от его расчетного значения $D_{i,j}^r$. Расчетное значение обобщенного дефекта $D_{i,j}^r$ определяется на основе статистического анализа результатов вычисления значений j -го вида дефекта на всем временном интервале измерения параметров работоспособности трубной арматуры. Формульные зависимости для его определения общеизвестны [2, 10, 23].

Достоверность оценки эксплуатационной надежности транспортной трубопроводной энергетической системы и ее конструктивных элементов обеспечивается минимизация среднеквадратического отклонения, вычисляемого по серии измерений. При этом вид обобщенного дефекта D_C выбирается из условия

$$\sum_{i=1}^{NI} (D_{i,c}(X_i) - D_{i,c}^r)^2 < \sum_{i=1}^{NI} (D_{i,j}(X_i) - D_{i,j}^r)^2, \quad (2.5)$$

для $j=1, \dots, c-1, c+1, \dots, ND$ при выполнении условий

$$VD_{\min} < VD_C < VD_{\max} \text{ и } D_{\min} < M(D_C) < D_{\max},$$

где VD_C – средняя по серии измерений точность изменения обобщенного дефекта; $M(D_C)$ – математическое ожидание обобщенного дефекта D_C для серии измерений; $VD_{\min}, VD_{\max}, D_{\min}, D_{\max}$ – пределы, ограничивающие для исправного изделия изменения характера и величины обобщенного дефекта.

При статистическом анализе массивов $\{D_{i,j}(X_i)\}$ $i = \overline{1, NI}, j = \overline{1, ND}$ возможны случаи, когда оцениваемые средние значения точности изменения обобщенных дефектов или их величины по небольшому их количеству, у которых значения среднеквадратичных отклонений меньше, чем у остальных видов обобщенных дефектов, превышают допустимые пределы. В этом случае формируется сообщение о необходимости проверки достоверности

измерения параметров эксплуатационной надежности работы трубной арматуры или о необходимости ремонта запорной ее части.

Фактические приведенные характеристики трубной арматуры оцениваются на основе расчетных приведенных характеристик и расчетного значения выбранного обобщенного дефекта D_C

$$\varepsilon_{np}^f(Q_{np}) = \varepsilon_{np}^p(Q_{np}, D_C), \quad (2.6)$$

$$\eta_{пол}^f(Q_{np}) = \eta_{пол}^p(Q_{np}, D_C). \quad (2.7)$$

Третья приведенная фактическая характеристика $\left(\frac{N}{\rho}\right)_{np}^f(Q_{np})$ – приведенная внутренняя фактическая пропускная способность, можно по характеристике $\varepsilon_{np}^f(Q_{np})$ и $\eta_{пол}^f(Q_{np})$ с использованием энергодинамической моделью.

При испытаниях на износ и долговечность наблюдается значительный разброс в значениях ресурсов конструктивных элементов оборудования и транспортных трубопроводных энергетических систем. Этот разброс вызван различием свойств металла разных плавок или применением различных технологических процессов изготовления прецизионных деталей, или различием условий сборки, испытания, эксплуатации и ремонта систем газоснабжения.

Влияние перечисленных факторов можно значительно уменьшить, совершенствуя конструкции, улучшая технологию изготовления и сборки, дальнейшим совершенствованием методов эксплуатации и ремонта конструктивных элементов транспортных трубопроводных энергетических систем. Наличие трех приведенных фактических характеристик трубной арматуры позволяет по текущему вектору измерений параметров конструктивного элемента оценить техническое состояние арматуры транспортной системы.

2.4. Математическая модель определения надежности конструктивного элемента трубопроводной системы по единичному вектору измерений

При формировании свойств надежности на всех этапах жизненного цикла конструктивных элементов транспортной трубопроводной энергетической системы важное место занимает теория и методы расчета функционально-технологического их состояния. С физической точки зрения первичные предпосылки износостойкости трущихся поверхностей и связанной с этим надежности трубной арматуры обеспечивается при помощи технологических средств, которые обуславливаются рядом свойств и состоянием поверхностных слоев. Под воздействием эксплуатационных факторов, создавая условие образованию вторичных структур, представляющие собой продукты взаимодействия основного металла с газовой или жидкой средами зоны трения.

Анализ формирования свойств надежности трубной арматуры показывает, что ведущим фактором по снижению надежности эксплуатации прецизионных пар, является износ трущихся металлов. Чем пластичнее трущиеся металлы, тем при прочих равных условиях интенсивнее протекает процесс окислительного износа, оцениваемый вектором измерений.

Процесс определения (оценки) надежности или функционально-технического состояния по единичному вектору измерений, то есть определения фактических характеристик должен выполняться по каждому конструктивному элементу транспортной трубопроводной энергетической системы [2, 48]. Для каждого вектора измерений X_i и каждого вида обобщенного дефекта D_j , решая систему уравнений (2.4), вычисляют приведенную объемную пропускную способность производительность $Q_{пр,i,j}$ и обобщенный дефект $D_{i,j}$ износа.

Приведенная степень герметичности политропный КПД рассчитываются на основе политропного метода Шульца с использованием модифицированного уравнения состояния «Бенедикта-Вэбба-Рабина» [2, 10]

$$\varepsilon_{np}^S(X_i) = \left(\frac{m_{VH}(Q_{npi,j}^{S-1}) \cdot H_{n_{np}}}{Z_{np} \cdot R_{np} \cdot T_{exnp}} + 1 \right)^{\frac{1}{m_{VH}(Q_{npi,j}^{S-1})}} \quad (2.8)$$

$$\eta_{пол}(X_i) = \frac{K-1}{K} \cdot \frac{1}{m_T(X_i)}, \quad (2.9)$$

$$H_{n_{np}} = H_n(X_i) \cdot \left(\frac{n_H}{n_i} \right)^2, \quad (2.10)$$

$$H_n(X_i) = \frac{Z_{exi} \cdot R \cdot T_{exi}}{m_v(X_i)} \left(\left(\frac{P_{exi} + P_{ai}}{P_{exi} + P_{ai}} \right)^{m_v(X_i)} - 1 \right), \quad (2.11)$$

$$m_v(X_i) = \frac{\lg \left(\frac{Z_{exi} \cdot T_{exi}}{Z_{exi} \cdot T_{exi}} \right)}{\lg \left(\frac{P_{exi} + P_{ai}}{P_{exi} + P_{ai}} \right)}, \quad (2.12)$$

$$\frac{K-1}{K} = \frac{Z_{cpi} \cdot R_i}{C_{pcpi} - Z_{cpi} \cdot R \cdot V_{cpi} \cdot m_T^{-1}(X_i)}, \quad (2.13)$$

$$m_T(X_i) = \frac{\lg \left(\frac{T_{exi}}{T_{exi}} \right)}{\lg \left(\frac{P_{exi} + P_{ai}}{P_{exi} + P_{ai}} \right)}, \quad (2.14)$$

$$R_i = \frac{1,204 \cdot R_{возд}}{\rho_u}, \quad (2.15)$$

где индексы: s - номер приближения; np , n , cp - соответственно обозначают приведенное, номинальное или среднее значение параметра.

Следует обратить внимание на то, что входящий в уравнение для вычисления $\varepsilon_{np}\{X_i\}$ объемный коэффициент политропы m_{vH} , рассчитываемый для условий приведения, зависит от вычисляемого $Q_{np,i,j}$. Поэтому процедура решения системы уравнений должна быть рекуррентной, с последовательным уточнением $\varepsilon_{np}\{X_i\}$ на текущем шаге по вычисляемому значению $Q_{np,i,j}$ предыдущем шаге.

Решение уравнений находится в плоскости $Q_{np} D_j$. В общем случае определяются три отрезка.

Графическая иллюстрация решения системы уравнений определения значений обобщенного дефекта $D_{i,j}$ и приведенной объемной производительности $Q_{np,i,j}$ представлена на рис. 2.4.

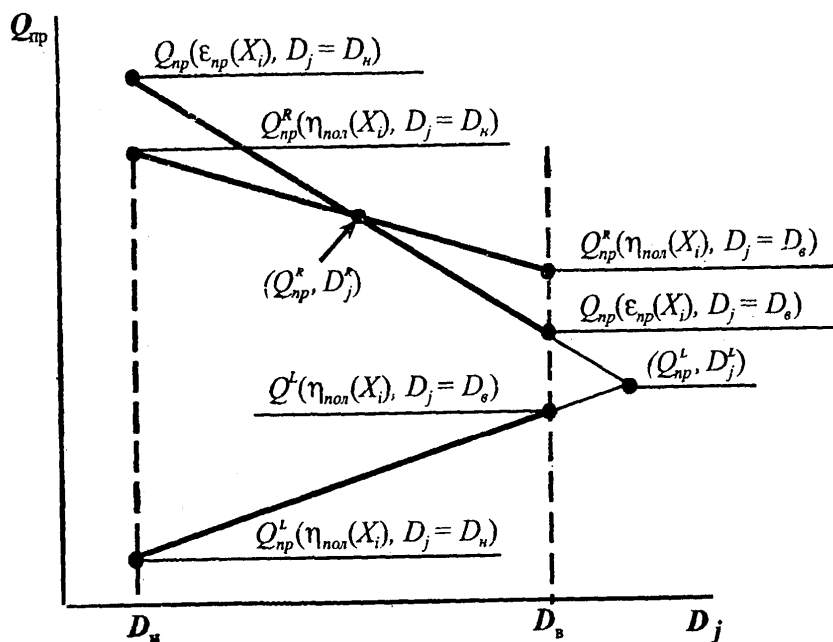


Рис.2.4 – Определение значения обобщенного дефекта $D_{i,j}$ и приведенной объемной пропускной способности $Q_{np,i,j}$ для текущего значения вектора измерения X_i

Первый отрезок определяется двумя точками с координатами $Q_{np}(\varepsilon_{np}\{X_i\}, D_j = D_H)$, $D_j = D_H$ и $Q_{np}(\varepsilon_{np}\{X_i\}, D_j = 1)$, $D_j = 1$. На первом шаге итеративного процесса значение нижней границы дефекта D_H принимается равным нулю. Координаты Q_{np} определяются из расчетной характеристики $\varepsilon_{npj}^p(Q_{np}, D_j)$. Два следующих отрезка определяются из расчетной характеристики $\eta_{полj}^p(Q_{np}, D_j)$. Наличие экстремума этой характеристики при любом значении D_j и $\eta_{пол}(X_i) \leq \eta_{\max}$ (η_{\max} – максимальное значение КПД паспортной характеристики) определяет существование двух решений $Q_{np}^L(\eta_{пол}(X_i), D_j)$ и $Q_{np}^R(\eta_{пол}(X_i), D_j)$, при которых $\eta_{пол}(X_i) = \eta_{полj}^p(Q_{np}^{L(R)}(\eta_{пол}(X_i), D_j))$.

Исходя из наличия этих двух решений, находят второй и третий отрезки:

- второй отрезок имеет координаты конечных точек $Q_{np}^L(\eta_{пол}(X_i), D_j = D_H)$, $D_j = D_H$ и $Q_{np}^R(\eta_{пол}(X_i), D_j = D_B)$, $D_j = D_B$;
- третий отрезок имеет координаты конечных точек $Q_{np}^R(\eta_{пол}(X_i), D_j = D_H)$, $D_j = D_H$ и $Q_{np}^L(\eta_{пол}(X_i), D_j = D_B)$, $D_j = D_B$.

При этом значение верхней границы дефекта D_e определяется из условий

$$\eta_{пол}(X_i) \geq \max \eta_{полj}^p(Q_{np}, D_B) \text{ и } 0 \leq D_H \leq D_B \leq 1 \text{ при } Q_{\min} \leq Q_{np} \leq Q_{\max}.$$

При определении координат отрезков и координат точек пересечения первого и второго отрезков Q_{np}^L, D_j^L и первого и третьего отрезков Q_{np}^R, D_j^R возможны ситуации, при которых последующие вычисления для вектора X_i и обобщенного дефекта D_j , прекращаются. Вычисления прекращаются, если:

- вычисленные значения приведенной степени герметичности и/или политропного КПД по вектору измерения X_i превышают максимально возможные значения

$$\varepsilon_{np}^S(X_i) > \varepsilon_{\max} \text{ и/или } \eta_{nol}(X_i) > \eta_{\max},$$

где $\varepsilon_{\max}, \eta_{\max}$ – максимальные значения приведенной степени герметичности и политропного КПД по паспортным характеристикам;

- координаты точек пересечения первого и второго отрезков Q_{np}^L, D_j^L и первого и третьего отрезков Q_{np}^R, D_j^R не находятся в допустимой области

$$Q_{\min}(1 - \delta_q) \leq Q_{np,i,j}^{L(R)} \leq Q_{\max}(1 + \delta_q) \text{ и} \quad (2.16)$$

$$(D_H - \delta_z) \leq D_{i,j}^{L(R)} \leq (D_B + \delta_z),$$

где δ_q, δ_z – допустимые погрешности вычисления приведенной объемной производительности $Q_{np,i,j}$ и обобщенного дефекта $D_{i,j}$.

Если одна или две точки пересечения отрезков лежат в допустимой области, выполняется следующий шаг по уточнению решения системы уравнения (2.4) за счет сужения диапазона $D_H - D_B$ относительно найденного значения дефекта D_j^R или D_j^L .

Процесс уточнения решения уравнений прекращается при отклонении найденных значений обобщенного дефекта и приведенной объемной пропускной способности на текущем шаге от значения на предыдущем шаге не более, чем на заданные величины.

Анализируя полученные данные можно отметить, что износ запорной части трубной арматуры транспортной энергетической системы в первом случае по отношению третьего случая значительно больше и вызывает снижение фактической герметизирующей способности (КПД) по отношению к первоначальному (новому) изделию.

2.5. Методы оценки эффективности ремонтно-эксплуатационных работ по технико-экономическим критериям

В качестве основных критериев оценки эксплуатационной надежности транспортных трубопроводных систем и их конструктивных элементов при проведении восстановительных работ должен быть экономический критерий [22, 51, 54]. Проводя профилактические работы по поддержанию в надежном и безопасном эксплуатационном состоянии транспортные трубопроводные системы, ведущим критерием является длительность нахождения их в профилактическом состоянии, который может быть определен по формуле:

$$t_{проф} = \sum_{i=1}^K t_{ni} + \sum_{i=1}^n t_{bj} + t_{ф.к}, \quad (2.17)$$

где $\sum_{i=1}^K t_{ni}$ - суммарное время проведения профилактических мероприятий, выполняемых последовательно;

$\sum_{i=1}^n t_{bj}$ - время восстановления n неисправностей за время профилактики;

$t_{ф.к}$ - время функционального контроля.

Техническое обслуживание газового оборудования и трубопроводных систем по периодичности выполнения и перечню работ должно подразделяться на следующие виды : ежедневное техническое обслуживание ЕС (ТО-1), второе техническое обслуживание (ТО-2) и третье техническое обслуживание (ТО-3).

При ежедневном техническом обслуживании (ЕО) производятся очистка, мойка и смазка узлов, а также проверка технического состояния их; контроль утечки газа, состояние и работоспособность приборов, устройств.

При втором техническом обслуживании (ТО-2) производится проверка технического состояния газового оборудования без разборки агрегатов, но с проведением простых регулировок и замены в агрегатах мелких элементов.

При третьем техническом обслуживании (ТО-3) дополнительно производится проверка и регулировка всех агрегатов, очистка деталей оборудования, проверка состояния трубной, защитной и контрольной аппаратуры.

Комплексной оценкой эффективности проведения ремонтно-восстановительной техники, оборудования и транспортных трубопроводных энергетических систем могут служить затраты на ремонтные работы. Критерием должно служить неравенство:

$$C_p < C_T \quad (2.18)$$

где C_p – сметная стоимость ремонта, необходимого для восстановления всех износившихся деталей и узлов;

C_T - стоимость полного воспроизводства на момент определения целесообразности ремонта.

Однако, в практике эксплуатации газового оборудования и трубопроводных систем бывают случаи, когда из-за дефицитности тех или иных изделий ремонт производится при условии $C_p \geq C_T$.

Выбор рационального способа восстановления деталей газового оборудования - одна из сложных задач в организации ремонта. Способ ремонта зависит от конструкторско-технологических особенностей и условий работы деталей, величины их износов, эксплуатационных свойств способов восстановления, определяющих ресурс отремонтированных деталей, и от стоимости их ремонта.

В самом общем виде под экономически рациональным способом восстановления деталей, очевидно, следует понимать такой способ, затраты на осуществление которого окупаются достаточным сроком службы восстановленных деталей.

Условие рациональности применения того или иного способа восстановления можно представить аналитически с помощью неравенства:

$$\frac{C_B}{\tau_B} \leq \frac{C_H}{\tau_H}, \quad (2.19)$$

или

$$C_B \leq K_H C_H,$$

где C_H – стоимость изготовления новой детали;

C_B – стоимость восстановления изношенной детали;

τ_H, τ_B – сроки службы соответственно новой и восстановленной деталей;

K_H – коэффициент износостойкости.

При $K_H = 1$, т.е. при равных долговечностях новой и восстанавливаемой деталей, рациональность применения любого из способов или методов будет зависеть только от себестоимости восстановления.

При $K_H > 1$ рациональными могут оказаться способы или методы восстановления с достаточно высокой себестоимостью. В отдельных случаях достижение при ремонте требуемой долговечности по сравнению с новой деталью принимает вид $K_H < 1$, значение сроков службы τ_H, τ_B определяется через величины предельного износа детали, узла к интенсивности их износа:

$$\tau_H = \frac{I_{H \text{ пр}}}{U_H}; \quad \tau_B = \frac{I_{B \text{ пр}}}{U_B} \quad (2.20)$$

где $I_{H \text{ пр}}, I_{B \text{ пр}}$ – величины предельных износов соответственно до и после восстановления детали;

U_H, U_B – интенсивности износа соответственно до и после восстановления детали.

Поставляя значения τ_H, τ_B и вышеуказанных выражений, получим:

$$\frac{C_B U_B}{I_{B \text{ пр}}} \leq \frac{C_H U_H}{I_{H \text{ пр}}} \quad (2.21)$$

Ввиду того, что для одной и той же детали при ее восстановлении до начальных свойств надежности должно выполняться условие $I_{B \text{ пр}} = I_{H \text{ пр}}$, то условие рациональности восстановления деталей тем или другим способом может быть представлено в следующем виде:

$$C_B U_B \leq C_H U_H \quad (2.22)$$

При выборе способа или метода ремонта должен считаться тот вариант, если величина $C_B U_B$ для восстановленной детали не превышает постоянной величины $C_H U_H$ для новой детали (агрегата).

Данный факт должен согласовываться с состоянием реально существующих производственных факторов и ограничений, определяющие технические, технологические и производственные возможности достижения прогнозируемого качества изготовления агрегатов, узлов и деталей.

Иными словами, в сфере эксплуатации технико-экономический уровень техники устанавливается (нормируется), а в сфере производства технико-экономический уровень оборудования и системы определяется возможностями его достижения, и чем ближе будет его значение к нормативному, тем эффективнее будет работать ремонтно-эксплуатационное производство.

Исследованиями установлено, что трудоемкость восстановления деталей составляет более 40% трудоемкости ремонта всей системы транспортирования энергоносителя. На ремонтно-механических предприятиях количество восстанавливаемых деталей достигает 2000-3000 наименований. При анализе технологии ремонта, суммарные годовые затраты $З(t)$ на техническое обслуживание и ремонт изделия, являющиеся экономическим критериям, определялись по информации за год об отказах

всех трех групп сложности ($j = 3$) и отказов, которые вызовут наступление предельного состояния агрегата или его элемента:

$$3(t) = \frac{\sum_{j=1}^{i=3} \Omega_j(t) C_j + \Omega(t) \cdot C + \sum_{f=1}^{n=10} C_{TO} + \sum_{o=1}^{m=5} C_{TD}}{C_0}, \quad (2.23)$$

где C_0 , C_j и C - цена, средняя стоимость устранения отказов и проведения капитального ремонта;

$\Omega_j(t)$ и $\Omega(t)$ - ведущие функции потоков отказов и капитальных ремонтов.

При этом сделано допущение, что C_j , C и затраты на проведение ТО и диагностирование постоянны при любой наработке (t) агрегата и не влияют на характер протекания функции $3(t)$.

Чтобы оценить свойства надежности объекта в процессе эксплуатации, необходимо проанализировать различные факторы, связи, структуры. Эта задача решается с помощью метода индукции, который представляет собой переход от изучения отдельного элемента к целому. В его основе лежит поиск конкретного механизма целостности объекта.

Системный подход к исследованию надежности транспортных трубопроводных систем и их агрегатов предполагает проведение анализа элементов системы во всем составляющим надежности, установление факторов и исследование их влияния на элементы и систему в целом, разработку рекомендаций и их реализацию.

РАЗДЕЛ 3

СТРАТЕГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТРУБНОЙ АРМАТУРЫ ТРАНСПОРТНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ПО КРИТЕРИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

3.1. Стратегия обеспечения надежности транспортных трубопроводных систем и их конструктивных элементов

При проектировании (конструировании) и производстве, как транспортных трубопроводных систем, так и их конструктивных элементов (арматуры) закладывается свойство – конкретность, то есть должна быть информация о структуре изделия. При этом необходимо знать не все свойства изделия, а лишь некоторые:

- свойства, которые с достаточно высокой надежностью обеспечат функционирование запорной арматуры транспортной системы;

- свойства, необходимые и достаточные, которые вполне осознанно и целесообразно должны быть приданы любому элементу (детали, узлу, агрегату) энерготранспортной системы в ходе производственного процесса. Эти свойства, которые являются определяющими конструкцию:

- внешняя структура;
- внутренняя структура.

Именно в этой последовательности функционирование и работоспособность конструкций арматуры энерготранспортных систем зависят от внешней структуры. Создавая конструкцию элемента запорной и регулировочной арматуры, сначала создается воображаемый вид, который называется геометрическим внешним видом, а затем внутренняя структура.

Основным условием нормальной работы энергопотребляющей установки (двигателя, котла) является бесперебойное питание топливом с автоматической регулировкой подачи. Эти функции выполняют различные

агрегаты, где роль трубопроводной арматуры разнообразна и неординарна. Надежность и работоспособность деталей и узлов трубопроводного транспорта имеет две основные ветви: конструкционную и технологическую. Конструкционная надежность обеспечивается на заданном уровне в том случае, когда правильно и на заданном уровне обеспечивается долговечность и неразрушаемость в пределах расчетного гарантированного срока эксплуатации трубопроводной системы [182].

Неразрушаемость определяется необходимой прочностью конструкции, рассчитанное на испытательное и рабочее давление перекачиваемого энергоносителя, а также на взаимодействие внешних силовых факторов и агрессивностью окружающей среды. Нагрузки, действующие на детали транспортной системы, вызываются неравномерностью рабочего процесса, внешним воздействием на трубопровод, старением материала и др., которые бывают статические и динамические. На основании наблюдений за работой крана построена кривая относительного цикла нагружений n/N как функция нагрузки $K = \frac{P}{P_{\max}}$ (рис.3.1), где n – число циклов нагружений при нагрузке P ; N – общее число циклов нагружений.

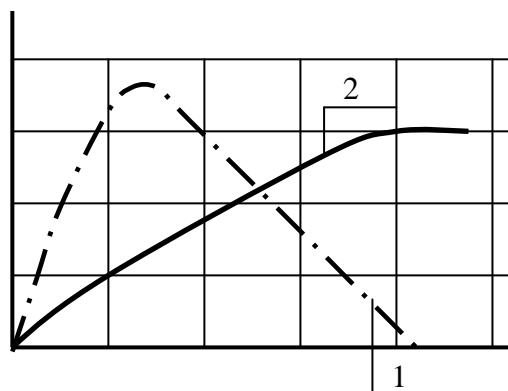


Рис.3.1 – Кривые относительного цикла нагружений:

1 – плотности распределения нагрузок $f(x)$, 2 – функция распределения $F(X)$

Явления эксплуатационной наследственности следует учитывать при выборе рациональной формы конструкции трубной арматуры на всех стадиях ее создания и производства, а также при оценке показателей надежности транспортной трубопроводной системы. Так как скорости изнашивания деталей прецизионных пар запорной арматуры сравнительно невелики, то актуальной является проблема, как увязать существующую и намечаемую на перспективу технологию производства и ремонта, как выбрать более эффективный и экологически безопасный вспомогательный материал, используемый в технологических целях при техническом обслуживании и ремонте прецизионных пар трубопроводной арматуры; каким образом, обеспечение надежности работы трубопроводной системы объединить с экономикой и экологией. Самый простой ответ на все эти и другие вопросы - все должно быть научно обоснованным, надежным: и затраты на проектирование, создание и эксплуатацию энерготранспортной системы, а также в какой срок будут достигнуты данные цели, какой ущерб будет нанесен природе и как его уменьшить? (рис.3.2).

Изложенные теоретические предложения повышения качества уплотнений (герметичность) является исчерпывающими и могут быть использована при выборе способа и схемы технологии абразивной доводочно-притирочной обработки уплотнительных металлических поверхностей запорной и регулировочной арматуры трубопроводных транспортных систем и оборудования.

Широкое применение в транспортных трубопроводах шаровых и других кранов, в которых сферическая поверхность изготовлена из пластмассы требует научного осмысления и уточнений [9, 171].



Рис.3.2 – Основные направления повышения технического уровня транспортной трубопроводной системы

С помощью анализа на базе явлений технологической наследственности можно определить причины, вызвавшие то или иное отклонение выходных параметров трубной арматуры, которые связаны с прошлым, а также историей изготовления деталей и узлов. Одновременно можно изучить явления и количественно оценить выходные параметры, то есть дать прогноз изделию и его поведение в эксплуатации, хотя оно находится еще на стадии проектирования или отработки технологического процесса изготовления. Для этих целей использование методов технологической, наследственности вполне приемлемо.

Применительно к трубной арматуре в плане прогнозирования особый интерес имеет вопрос изменения точности размеров, формы поверхностей,, их взаимного расположения, а также и физико-механических параметров: прочности, напряжений, износостойкости. Для обеспечения этих высоких требований необходимо точность формы рабочих поверхностей, контактная жесткость и точность поворота вокруг оси.

Для обеспечения этих требований необходимо учитывать явления наследственного характера, имеющие место, как при производстве, так и при эксплуатации трубопроводных систем. Технологическая наследственность проявляется в виде зависимостей структуры, напряженного состояния и шаржированности приповерхностного слоя основного материала, микро- и макрогеометрии трущихся поверхностей и абразивно-доводочных обработок [61, 173].

В конусных соединениях отклонения диаметров и углов конусов вызывают изменение базорасстояния C (рис. 3.3, 3.4).

Обозначив отклонение большого диаметра конического вала через ΔD_B , втулки — через ΔD_A , отклонения углов уклона — через $\Delta \alpha_B$ и $\Delta \alpha_A$, а изменение базорасстояния соединения — через ΔC , изложим влияние отклонений диаметров при базировании по ΔD_A : возьмем случаи, когда $\Delta D_A > 0$, а $\Delta D_B = 0$. В этом случае конический вал опустится вниз и базорасстояние C уменьшится на величину $\Delta f = \Delta C$.

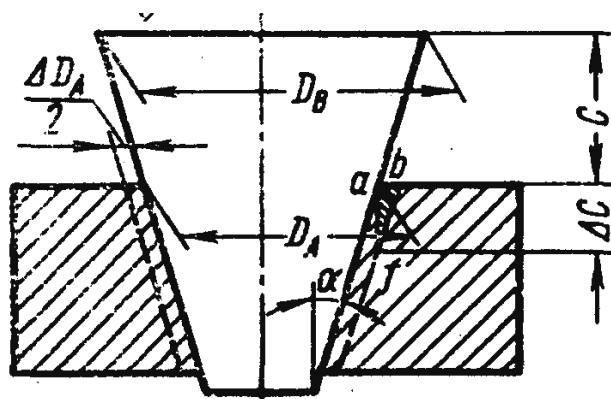


Рис. 3.3 – Схема изменения базорасстояния при отклонениях диаметров конусов (базирование по D_A).

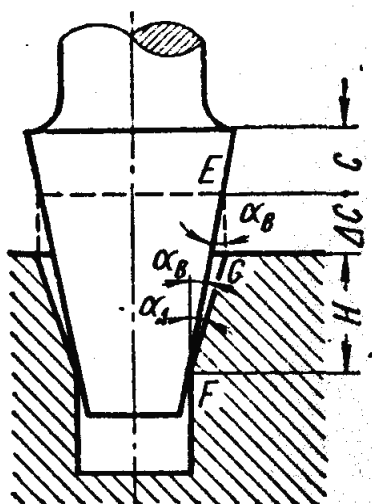


Рис. 3.4 – Схема изменения базорасстояния при отклонениях углов уклона конусов (при $\alpha_A > \alpha_B$).

Из косоугольного треугольника FEG (рис.3.4) следует

$$FG = \frac{H}{\cos \alpha_A}.$$

Следовательно, при положительном ΔD_A изменение базорасстояния ΔC будет отрицательным.

Из треугольника afb

$$ab = \frac{\Delta D_A}{2}; af = \frac{ab}{\tan \alpha}; \Delta C = \frac{\Delta D_A}{2 \cdot \tan \alpha} \quad (3.1)$$

Учитывая, что $2 \cdot \operatorname{tg} \alpha = K$, получим

$$|\Delta C| = \frac{|\Delta D_A|}{K} \quad (3.2)$$

Аналогично, если $\Delta D_B \neq 0$ и $\Delta D_A = 0$, получим

$$|\Delta C| = \frac{|\Delta D_B|}{K} \quad (3.3)$$

В общем случае, если имеются отклонения диаметров вала ΔD_B и втулки ΔD_A , то необходимо их просуммировать, предварительно определив знак ΔC , то есть выяснив уменьшается или увеличивается базорасстояние при указанных отклонениях.

Суммарное отклонение базорасстояния из-за отклонений диаметров вала и втулки (рис.3.4):

$$\Delta C = \frac{\Delta D_B - \Delta D_A}{K} \quad (3.4)$$

где ΔD_B и ΔD_A подставляются со своими знаками.

Рассмотрим изменение базорасстояния при наличии погрешностей углов уклона $\Delta \alpha_B$ и втулки $\Delta \alpha_A$.

$$\frac{\Delta C}{\sin(\alpha_A - \alpha_B)} = \frac{H}{\cos \alpha_A \cdot \sin \alpha_B}, \quad (3.5)$$

откуда

$$\Delta C = \frac{H \cdot \sin(\alpha_A - \alpha_B)}{\cos \alpha_A \cdot \sin \alpha_B}. \quad (3.6)$$

Если в этой формуле:

- положить $\sin(\alpha_A - \alpha_B) \approx \alpha_A - \alpha_B$, то есть ввиду малости предельных отклонений угла уклона;
- разность $\alpha_A - \alpha_B$ выразить вместо минут в радианах;
- положить $\cos \alpha_A = \cos \alpha$ и $\sin \alpha_A = \sin \alpha$, то есть ввиду малой разницы в углах, то получим

$$\Delta C = \frac{3 \cdot 10^{-4} \cdot H \cdot (\alpha_A - \alpha_B)}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} \quad (3.7)$$

Умножая числитель и знаменатель на 2 и полагая, что для малых углов $\sin 2\alpha \approx 2\operatorname{tg} \alpha = K$, получим

$$\Delta C = \frac{6 \cdot 10^{-4} \cdot H \cdot (\alpha_A - \alpha_B)}{K} \quad (\text{при } \alpha_A - \alpha_B), \quad (3.8)$$

Из изложенного видно, что погрешности диаметров конусов вызывают в основном изменение базорасстояния, мало изменяя характер контакта сопрягаемых конусов, тогда как погрешности их углов приводят к линейному контакту вместо поверхностного, что уменьшает передаваемый M_{mp} , ускоряет износ подвижных конусов и уменьшает срок службы соединений (рис. 3.5).

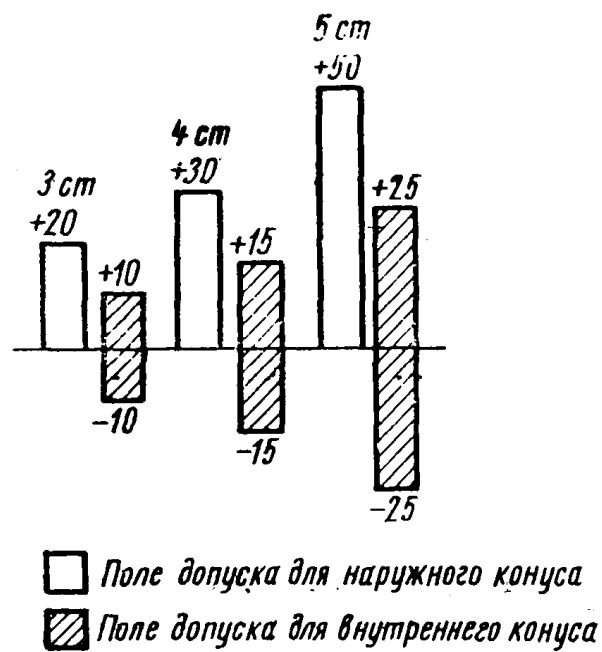


Рис. 3.5 – Схемы полей допусков на конусность конусных деталей (отклонения в мкм на 100 мм длины конуса)

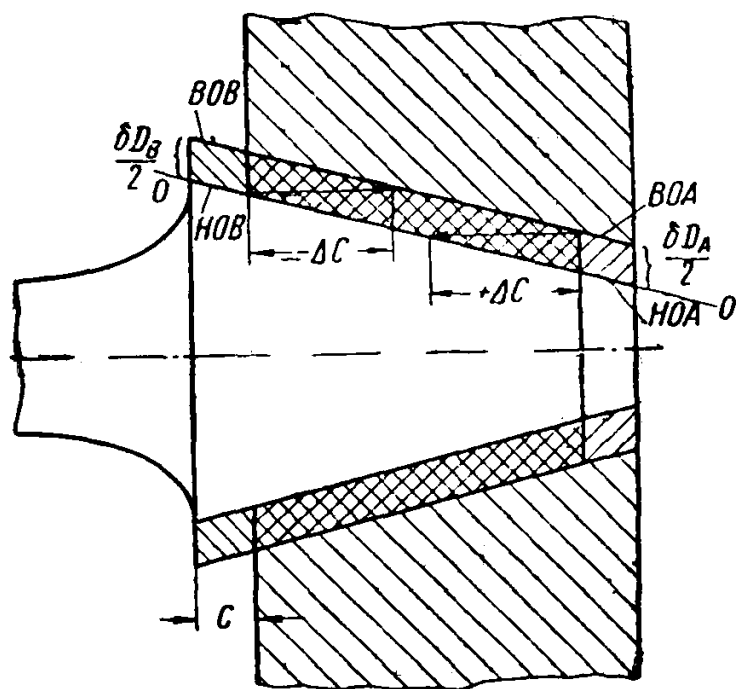


Рис. 3.6 – Схема полей допусков на диаметры конусных деталей

Суммарное изменение базорасстояния при наличии отклонения диаметров и отклонения углов уклона составляет

$$\Delta C = \frac{1}{K} \{ \Delta D_B - \Delta D_A + [6 \cdot 10^{-4} \cdot H \cdot (\alpha_A - \alpha_B)] \}, \quad (3.9)$$

где $H, \Delta D_B, \Delta D_A, \Delta C$ - в мм;

α_A, α_B - в минутах.

В конусных соединениях пробковых кранов допусками должны ограничиваться отклонения угла конуса, размер базового диаметра конуса, отклонения формы конических поверхностей, а также общая длина конусов, диаметр и другие конструктивные размеры.

Допуски базового диаметра D как для внутреннего, так и для наружного конусов рекомендуется принимать по 8 квалитету и поля допусков располагаются в плюс от номинального размера для обоих соединяемых конусов (рис.3.6). При таком расположении полей допусков действительные отклонения вала и втулки наиболее часто будут близки друг к другу и тогда базорасстояние изменяться не будет. Базорасстояние уменьшится, если D_B равен номинальному размеру, а D_A — наибольшему предельному размеру ($D_A + \delta D_A$), и увеличится, если D_A равен номинальному размеру, а D_B — наибольшему предельному размеру ($D_B + \delta D_B$). Абсолютную величину изменения базорасстояния в обоих случаях можно определить по формуле:

$$\Delta C = \frac{\delta \cdot D_{A(B)}}{K}. \quad (3.10)$$

Путем установления допуска на базовый диаметр D расширяет возможности контроля конусов, так как при этом возможно как непосредственное измерение размера D , так и контроль конусов калибрами [112].

3.2. Явления технологической наследственности и надежность трубной арматуры

Технологическая наследственность – это теория с помощью которой предоставляется возможным получить ответы о переносе свойств объекта от предшествующих технологических операций к последующим. Выдерживание допусков при осуществлении технологического процесса изготовления и ремонта машин; создание в поверхностных слоях напряжений нужной величины и знака представляют собой задачи, решение которых связано с преодолением существенных технологических трудностей. Причем важно не только получить необходимые свойства высокоточных деталей, но и длительно сохранить их во время эксплуатации [178].

Надежность деталей трубной арматуры, работающих в условиях трения, связано с увеличением износостойкости использованием конструкторских, технологических средств и соответствующим выбором вспомогательных материалов технологического назначения. В зависимости от условий производства и ремонта транспортных трубных энергетических систем, их конструктивных элементов можно существенно влиять на их функционально-техническое состояние. Известно, что особую роль в развитии ускоренного износа принадлежит доводочно-притирочным смесям и газовой среде [168, 174]. Большое значение для сроков службы и надежности работы прецизионных деталей имеют эксплуатационные регламентные работы, частота включений и выключений агрегата, прибора, так как шаржируемость отдельных поверхностей абразивом существенно влияет на образование зазоров, искажение формы.

При анализе износостойкости прецизионных пар газовой арматуры, деталей газового оборудования, трубопроводов и других изделий в результате действия сил трения и определяются условиями работы деталей, качеством материала, характером обработки и др. Эти износы

являются неизбежными и появляются в результате относительно длительного периода их работы. Ускоренный износ от трения скольжения зависит от многих факторов, (рис.3.7), который возникает на поверхностях сопрягаемых деталей под воздействием технологической наследственности.



Рис.3.7 – Факторы, вызывающие ускоренные износы

Установление наследственных связей представляет собой весьма сложную задачу, которая решается расчетными и экспериментальными методами, причем экспериментальным методам должно быть отдано предпочтение. Это объясняется тем, что в таком случае информация может быть получена за сравнительно короткое время, достоверность ее оказывается более полной, становится возможным составить картину о рассеянии параметров. Расчетные методы во многих случаях также требуют экспериментального подтверждения.

Технологический процесс должен предусматривать это важнейшее обстоятельство. Следовательно, необходим новый подход к решению технологических задач и отказ от мнения, что свойства деталей обеспечиваются лишь на финишных операциях, хотя для прецизионных пар трубной арматуры этот фактор является очень важным. Таким образом, применительно к высокоточным деталям полезно расширить понятие «технологический процесс», включив в него всю последовательность операций, начиная с момента производства материала как определенного вещества и кончая преданием ему желаемых геометрических форм, размеров и свойств. Любой технологический процесс приводит к изменению этих параметров и образно может быть представлен траекторией точки, движущейся в $(n+1)$ -мерном пространстве состояний от некоторого начального состояния A до конечного состояния B (рис. 3.8).

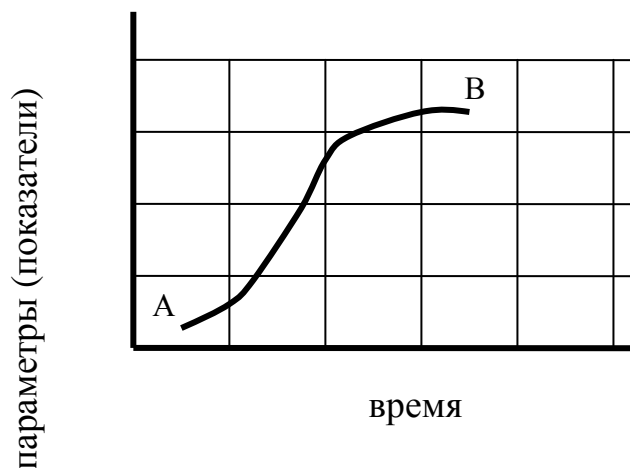


Рис. 3.8 – Изменение параметров объекта (изделия) во времени

3.3. Обеспечение надежности трубной арматуры технологическими методами

Рабочее давление энергоносителя стремится найти «узкие» места утечки в запорной арматуре.

При простейших испытаниях, когда они ограничиваются визуальным наблюдением, потери энергоносителя в транспортной трубопроводной системе не дают основания судить о техническом ее состоянии любого из элементов. Потери под нагрузкой путем измерений по разности на входе и выходе трубопроводной системы могут быть близки между собой и поэтому должны измеряться с большой точностью по каждому элементу - узлу.

Наши исследования позволяют уточнить, что основными причинами несанкционированной утечки энергоносителя являются:

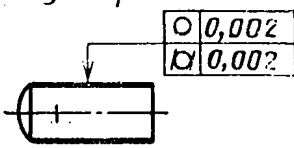
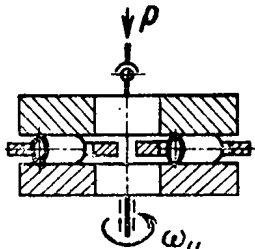
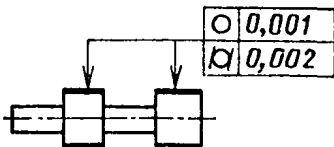
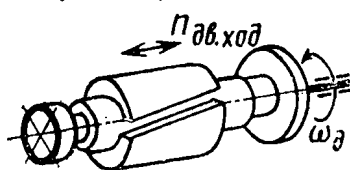
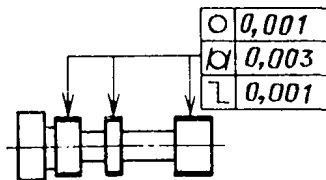
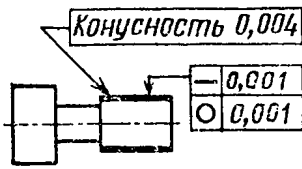
- негерметичность энергопроводных трубопроводов и арматуры;
- сброс энергоносителя (газа, жидкости, топлива) в атмосферу за счет деформации запорных элементов – уплотнений трубопроводной арматуры;
- старение материала уплотнительных частей запорной, регулировочной арматуры насосов, двигателей, компрессоров;
- несовершенная технология доводочно-притирочных работ в процессе эксплуатации энерготранспортных систем и оборудования;
- деструкция пластмассовых и других уплотнительных элементов запорной и регулировочной арматуры и оборудования.

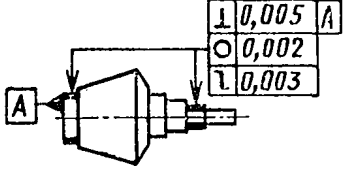
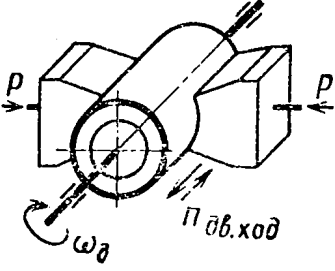
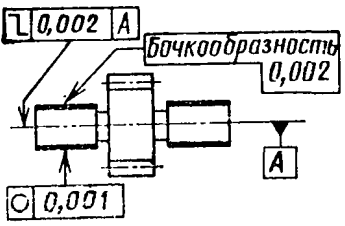
Нет необходимости пояснять какие сложнейшие вопросы надо решать для того, чтобы энергоноситель или другой продукт по транспортной трубопроводной системе из пункта А был доставлен в пункт Б без потерь и чтобы он непрерывно поступал туда в течение многих лет эксплуатации транспортной трубопроводной системы.

Проблемы возникают, не говоря о выборе структуры транспортной трубопроводной системы, каким образом, выбрать материал и способ соединения; какая более надежная конструкция запорной, регулирующей арматуры.

Некоторые теоретические и экспериментальные исследования по обобщению основ достижения заданного технического уровня надежности работы трубопроводной арматуры отражены в литературе [3, 181]. Более глубокое изучение состояния вопроса дает основание уточнить, что наиболее распространенными парами прецизионных деталей являются плунжер - втулка, сепаратор - пята, крышка - кольцо, золотник - ротор, жиклер - клапан, цапфа - обойма, рычаг - пята и др. Основные исполнительные поверхности деталей: сферические, плоские, цилиндрические. Реже применяются сопряженные поверхности: цилиндр - сфера, сфера - конус, т.е. поверхности, переходящие одна в другую. На основании анализа деталей в табл.3.1 приведены конструктивные признаки поверхностей. Эти признаки являются одновременно и технологическими, так как определяют требования к выбору способа, схемы и условий финишной абразивной доводочно-притирочной обработки.

Таблица 3.1 – Детали с наружными цилиндрическими поверхностями и схемы доводки

Эскиз детали	Основные признаки поверхности	Схема доводки	Реализуемые признаки поверхности
<p><i>Плунжер насоса</i></p> 	Некоординированная, открытая, сплошная	<p><i>Свободный притир с контактом по линии</i></p> 	Некоординированная, открытая, пересеченная, сплошная
<p><i>Золотник</i></p> 	Некоординированная, открытая, пересеченная	<p><i>Свободный притир с контактом по поверхности</i></p> 	Некоординированная, закрытая, открытая, пересеченная, сплошная
<p><i>Золотник</i></p> 	Некоординированная, закрытая, пересеченная		
<p><i>Золотник</i></p> <p>Конусность 0,004</p> 	Некоординированная, с заданной нецилиндричностью, закрытая, сплошная		
	Координированная, закрытая, сплошная		Координированная, некоординированная,

<p><i>Ротор насоса</i></p> 		<p><i>Ориентированный притир с признаками свободного притира</i></p> 	<p>с заданной нецилиндричностью, закрытая, открытая, сплошная</p>
<p><i>Шестерня насоса</i></p> 	<p>Координированная, с заданной нецилиндричностью, закрытая, сплошная</p>		

Одним из основных признаков, характерным для всех прецизионных поверхностей, является точность их расположения относительно конструкторских баз детали. Если в чертеже специально оговорены и заданы с высокой точностью предельные отклонения от баз, а их величина одного порядка с предельными отклонениями формы, то поверхность получает признак координированной. У большинства деталей со сферическими координированными поверхностями ограничено смещение центросферы относительно оси вращения детали должно быть задано точное расстояние от какого-либо сечения или центра сферы до базовой плоскости детали.

С этой точки зрения сферические поверхности бывают выпуклые и вогнутые.

Важными являются признаки, определяющие условия доступа к прецизионным поверхностям при обработке. Условия доступа к вогнутым сферическим поверхностям зависят также и от того - больше или меньше они полусферы. Под признаком закрытая поверхность следует понимать наличие конструктивных элементов детали, затрудняющих доступ к поверхности или выход притира при абразивной доводочно-притирочной обработке.

Что касается признака сопрягаемых (несопрягаемых), характерен для поверхностей, работающих совместно в прецизионных парах и связанных

едиными техническими условиями на герметичность или величину площади поверхности контакта (пятно контакта). Сопрягаемые сферические поверхности — выпуклая и вогнутая — поверхности одного радиуса или, в зависимости от условий эксплуатации, с несколько большим радиусом у одной из них.

Менее распространенным признаком прецизионных поверхностей является наличие у них кромок, образованных от пересечения с другими поверхностями. Радиус скругления этих кромок бывает порядка 5-10мкм, где не должно быть сколов и заусениц.

В любой момент времени состояние этого изделия-полуфабриката оценивается конечным числом материала заготовки размеров $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ и конечным числом физико-механических свойств $X_{m+1}, X_{m+2}, \dots, X_n$. Любое состояние заготовки должно рассматриваться как результат состояний, имевших место в прошлом. По мере перемещения заготовки высокоточной детали из состояния А в состояние В происходит также перегруппировка микроскопических элементов материала, что проявляется в изменении его свойства. Различные траектории от А до В представляет собой различные технологические процессы.

Каждый процесс рассматриваем в топологическом плане, т.е. должна быть известна временная история изменений геометрических форм, размеров и свойств обрабатываемой заготовки. Отказ от такого подхода к рассмотрению технологических процессов изготовления высокоточных деталей находится в явном противоречии с решением вопросов надежности. Требования к параметрам прецизионных пар, в частности, трубной арматуры, ныне столь высокие, что необходимо также учитывать синэргические эффекты, которые создают технологическими процессами, то есть такие эффекты, общее действие которых превышает кажущуюся сумму отдельно взятых эффектов. Важную роль синэргитические эффекты играют при осуществлении доводочно-притирочного процесса изготовления или ремонте сопрягаемых уплотнительных частей трубной арматуры. Выделяемое при этом тепло может приводить к изменению

физико-механических свойств обрабатываемой заготовки и искажение ее геометрической формы, размеров, а химически активные ингредиенты и твердые частицы-зерна абразивно-доводочных смесей влиять на состояние приповерхностного слоя материала и формировать экологическую безопасность производственного процесса. Поиск синэргитических эффектов представляет собой важный резерв средств управления свойствами высокоточных деталей. Этому способствует общая тенденция увеличения точности и ужесточения параметров физико-механических свойств [135, 136].

Это требует нового подхода к оценке технологических процессов производства и ремонта конструктивных элементов трубопроводных транспортных систем. Четкий учет всей совокупности операций технологического процесса позволяет установить взаимосвязь и взаимозависимость параметров, создаваемых на предшествующих и предыдущих операциях. Явления технологической наследственности особенно важны для изготовления и сборки высокоточных деталей. Последнее объясняется количественной стороной наследуемых параметров. Наследственная часть, в этом случае, оказывается весьма ощутимой и занимает большую часть, а иногда и весь допуск на параметр или даже превышает его.

Влияние технологической наследственности на надежность рабочих поверхностей деталей запорной, регулировочной арматуры транспортных систем особенно важно на стадии создания и их производства, хотя технологическое наследие проявляется на всех без исключения изделиях.

Исследованиями установлено [100], что особый интерес представляет процесс, в котором соприкосновение рабочих поверхностей притира и обрабатываемой поверхности происходит по площадям, имеющим контур конечных размеров. При соприкосновении силовым замыканием одна из рабочих поверхностей свободно самоустанавливается по отношению к другой. Относительные движения притира и обрабатываемой детали складываются не более, чем из трех простых движений, где одно из которых должно быть вращательное и ось вращения является нормалью к притирающимся

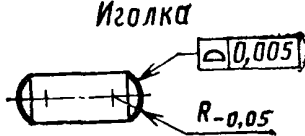
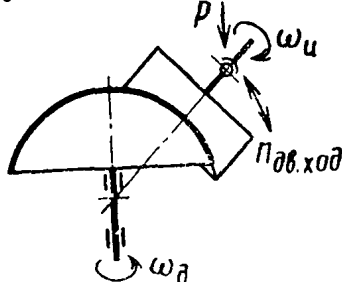
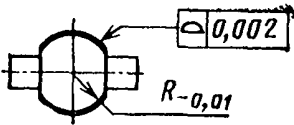
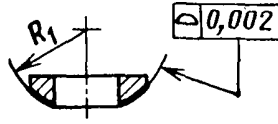
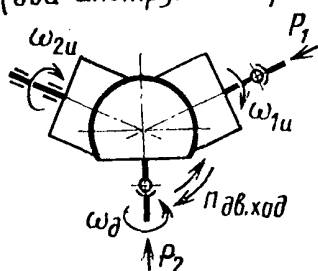
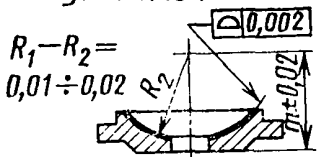
поверхностям. Относительное перемещение и форму притира рекомендуется выбирать так, чтобы все притирающиеся участки на поверхностях детали – заготовки и притира находились бы во время доводки во многократном перекрытии.

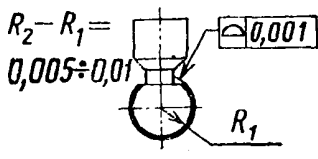
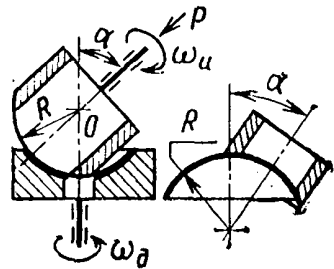
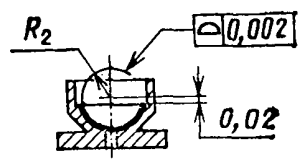
Практикой агрегатных предприятий страны доказано, что при доводке по способу свободного притира реализация перечисленных признаков происходит взаимным профилированием обрабатываемой притираемой поверхности и контролирующей поверхности притира, на поверхности которой наносится абразивно-доводочная смесь. Качество притираемой поверхности достигается до сотых долей микрона. Однако следует указать на то, что этот способ имеет и недостатки: непрерывное изменение размеров и взаимного положения поверхностей; затрудняет возможности получения заданной точности; иногда при абразивной доводочно-притирочной обработке возникают причины, которые создают условия практически возможно обеспечить высокую точность, когда искажается координация баз и процесс обработки свободного притира становится неустойчивым.

Кроме того, процесс свободного притира зависит от многих технологических факторов, трудно управляемый низкопроизводительный и требующий высокой квалификации исполнителя доводочно-притирочных работ.

Способ ориентированного притира, представляющий собой процесс, при котором обрабатываемая поверхность и поверхность притира ориентированы в пространстве и относительно друг друга имеет место регулирования относительного положения поверхностей и одна из поверхностей способна получать принудительную подачу к другой. При доводке происходит профилактика контактирующих поверхностей детали и инструмента с одновременным обеспечением точности положения обрабатываемой поверхности относительно баз детали (табл.3.2).

**Таблица 3.2 – Элементы сопрягаемых сферических поверхностей и
схемы технологии их доводки**

Эскиз детали	Основные признаки поверхности	Схема доводки	Реализуем ые признаки поверхнос ти
<p><i>Иголка</i></p> 	Некоордини рованная, несопрягаема я, меньше полусферы, выпуклая	<p><i>Свободный притир (один инструмент)</i></p> 	Некоордин ированная, несопрягае мая, меньше полусферы , вогнутая, выпуклая
<p><i>Ролик</i></p> 	Некоордини рованная, несопрягаема я, полусфера и больше, выпуклая		
<p><i>Кольцо торцового уплотнения</i></p> 	Некоордини рованная, сопрягаемая, полусфера и больше, выпуклая	<p><i>Свободный притир (два инструмента)</i></p> 	Некоордин ированная, несопрягае мая, выпуклая, полусфера и больше
<p><i>Крышка торцового уплотнения</i></p> <p>$R_1 - R_2 =$ $0,01 \div 0,02$</p> 	Некоордини рованная, сопрягаемая, меньше полусферы, выпуклая		

<p><i>Плунжер насоса</i></p>  <p>$R_2 - R_1 = 0,005 \pm 0,01$</p> <p>$R_1$</p>	<p>Координированная, сопрягаемая, меньше полусферы, вогнутая</p>	<p><i>Ориентированный притир с признаками свободного притира</i></p> 	<p>Координированная, некоординированная, сопрягаемая, несопрягаемая, меньше полусферы, вогнутая, выпуклая</p>
<p><i>Подпятник плунжера</i></p>  <p>R_2</p> <p>$0,002$</p> <p>$0,02$</p>	<p>Координированная, сопрягаемая, полусфера и больше, вогнутая</p>		

Точность координирования определяют схема и точность относительного расположения детали и инструмента. Так, при пересечении осей их вращения под углом α получается сферическая поверхность, центр которой находится в точке пересечения осей. Если оси вращения детали и инструмента параллельны, то в результате обработки образуется поверхность с радиусом $R \rightarrow \infty$, т.е. плоскость. При расположении оси невращающегося инструмента перпендикулярно оси вращения детали получается наружная цилиндрическая поверхность. Если эти условия не выполняются, например, имеет место скрещивание осей детали и инструмента, то нарушаются точности размеров, координирования и формы обрабатываемой поверхности (профилируются поверхности третьего и более высоких порядков). Точность формы зависит от некоторых технологических факторов, хотя и меньшей степени, чем при способе свободного притира. Точность геометрических параметров обрабатываемой поверхности определяется точностью расположения инструмента и детали, т.е. точностью оборудования, реализующего способ ориентированного притира.

Для устранения этого недостатка и дальнейшего повышения точности формы прецизионных поверхностей может быть предусмотрена возможность

регулирования радиальных зазоров $\Delta\rho$ в опорах обоих шпиндельных узлов или узла, несущего инструмент – притиродержатель.

На (рис. 3.9) приведен способ комбинированной доводки путем последовательного сочетания признаков ориентированного свободного притиров основан на последовательном чередовании обработки ориентированным и свободным притирами при неизменном установе детали 1. Ориентированный притир 2 обеспечивает производительный съём припуска и заданную точность координирования поверхности, свободный притир 3 — точность ее формы. Однако, при работе последнего достигнутая точность координирования может быть нарушена. Отсюда необходимость чередования работы притиров для последовательного приближения к заданным геометрическим параметрам детали. Если на первом этапе обработки обеспечить высокую точность формы, то можно сократить время доводки свободным притиром, сохранить точность координирования и ограничиться одним циклом чередования признаков.

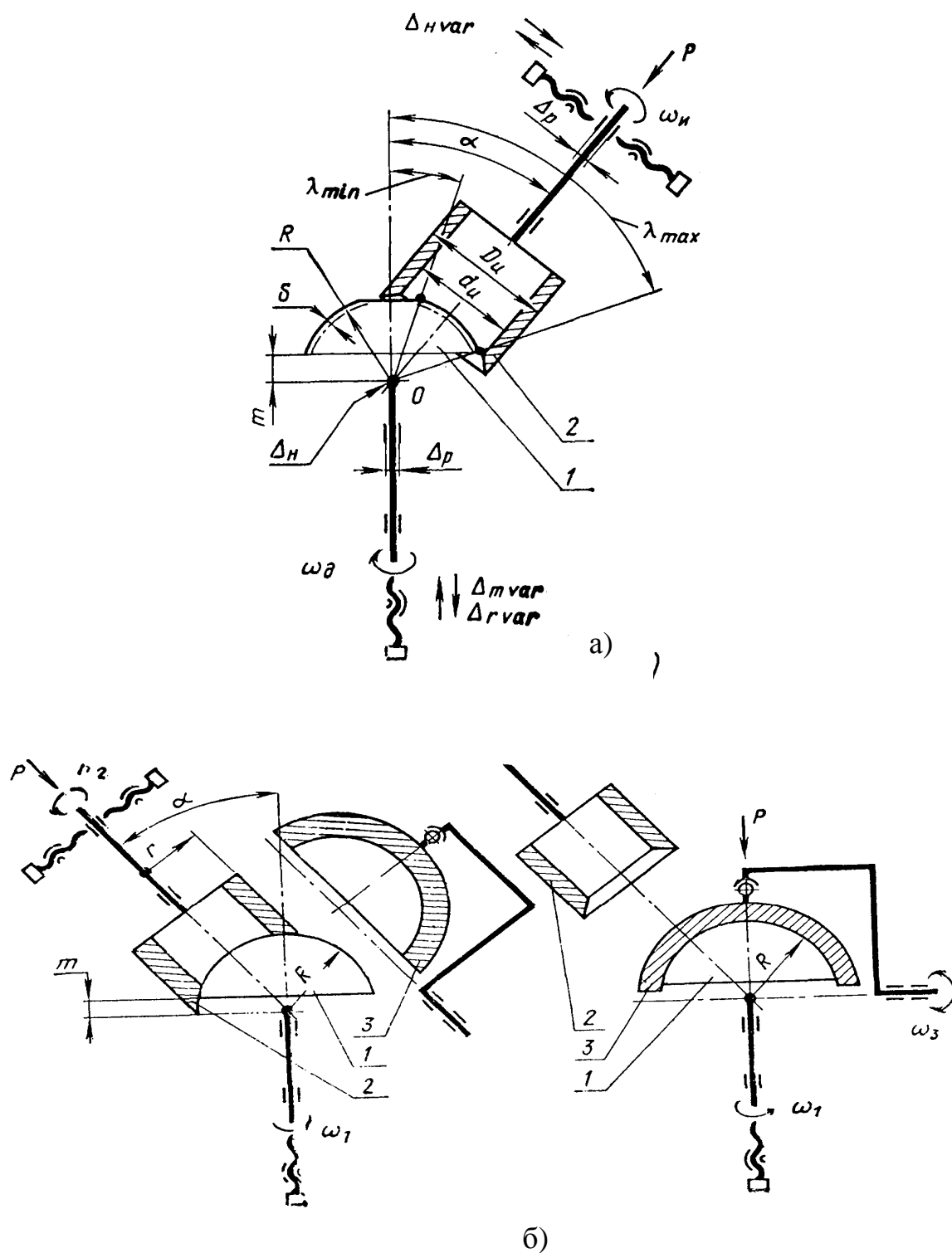


Рис. 3.9 – Схемы комбинированной доводки с параллельным (а) и последовательным (б) сочетанием признаков ориентированного и свободного притира

Недостатками последнего способа доводки являются сложность конструктивной реализации схемы, наличие трех звеньев для размещения двух

инструментов и детали, наличие периодов нестабильной работы, связанных с изменением формы и приработкой инструментов. Кроме того, при обработке поверхностей малых размеров, конструктивная реализация схем усложняется, доводка внутренних цилиндрических поверхностей практически невозможна.

Исследования точностных возможностей способов комбинированной доводки показали, что предельные отклонения формы обрабатываемых поверхностей складываются из погрешностей, создаваемых процессом и оборудованием.

Первые определяются признаками свободного притира, зависят от технологических и кинематических факторов и плохо поддаются аналитической оценке, вторые — признаками ориентированного притира, зависят от конструктивных факторов и могут быть при соответствующих допущениях вычислены аналитически.

3.4. Теоретический и экспериментальный поиск критерия, оценивающего эксплуатационную надежность прецизионных пар арматуры

Одной из важнейших характеристик поверхностей запорной части трубной арматуры является их волнистость, которую можно охарактеризовать отклонением шага волны к высоте. Природа волнистости связывается с колебаниями технологических систем в процессе изготовления прецизионных пар арматуры. Волнистость рабочих поверхностей деталей, высокая точность обработки достигается за счет повышения кинематической точности и жесткости технологического оборудования, а также совершенствования методов и способов абразивной доводочно-притирочной обработки прецизионных пар трубной арматуры [15, 168].

Абразивная доводочно-притирочная обработка — это сложный механико-химический процесс снятия припуска с обрабатываемой заготовки посредством массового динамического воздействия абразивных зерен на обрабатываемый металл

в сочетании с химико- и поверхностноактивными веществами, находящимися на поверхности инструмента-притира. Базирование абразивных зерен на поверхности инструмента-притира может быть в свободном, полужакрепленном или закрепленном состоянии (рис.3.10).

Установлено, что в процессе выполнения доводочно-притирочной обработки прецизионных пар трубной арматуры абразивное зерно может занимать самые различные пространственные положения, соответствующим образом, выходя затем на рабочую поверхность инструмента-притира. При этом абразивное зерно может занимать предельные значения толщины слоя абразивно-доводочной смеси от h (минимум) до I (максимум) в соответствии со своими линейными размерами (зернистостью).

Вероятностный анализ положений зерна в пространстве показывает, что при его равномерном угловом развороте на угол $\Delta\beta$ разные участки поверхности абразивного зерна имеют неодинаковую вероятность касания с поверхностью I-I.

В самом деле, как видно, участки 5-6 имеют гораздо большую напряженность поверхности, чем участки 1-2, находящиеся у меньшей полуоси эллипса.

Определив длину этих участков, найдя среди них общее значение и соответствующий ему угол $\bar{\beta}$ от большей оси эллипса представляется возможным найти средневероятностные условные координаты точек касания эллипсов с осями l и b , b и h :

- для эллипса с осями l и b

$$\bar{\beta}_1 = 55^\circ - 10K_\epsilon$$

- для эллипса с осями b и h

$$\bar{\beta}_2 = 55^\circ - 10K_\epsilon.$$

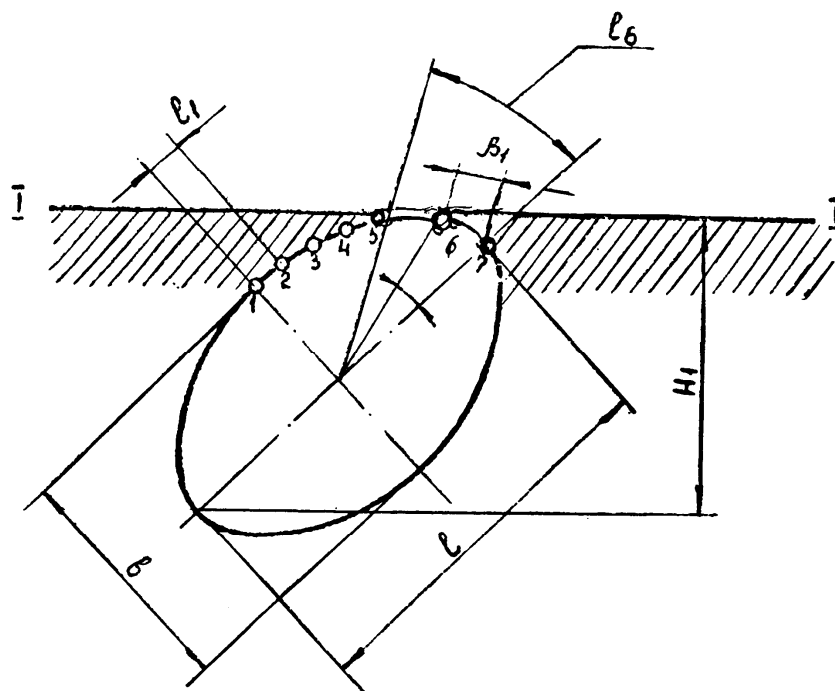


Рис.3.10 – Касания точек абразивного зерна с жесткой поверхностью

В соответствии с возможным положением абразивного зерна определенным углами $\bar{\beta}_1$ и $\bar{\beta}_2$, из рассмотрения геометрических, зависимостей эллипса нетрудно найти вероятные толщины слоя абразивно-доводочной смеси, занимаемые этим зерном (эллипсами):

- для эллипса с осями l и b

$$H_1 = b \left(K_\epsilon \frac{1}{\sqrt{1 + K_B^2 \overline{\beta}_1}} + \frac{K_\epsilon^2 \overline{\beta}_1}{\sqrt{K_\epsilon^2 + \overline{\beta}_1}} \right), \quad (3.11)$$

$$\sin \arctg \left(\frac{1}{K_\epsilon^2 \cdot \overline{\beta}_1} \right);$$

- для эллипса с осями b и h

$$H_2 = b \left(K_\epsilon \frac{1}{\sqrt{1 + K_h^2 \overline{\beta}_2}} + \frac{K_h^2 \overline{\beta}_2}{\sqrt{K_h^2 + \overline{\beta}_2}} \right), \quad (3.12)$$

$$\sin \arctg \left(\frac{1}{K_h^2 \cdot \overline{\beta}_2} \right);$$

Для всего абразивного зерна в среднем средневероятностная толщина в абразивно-доводочном слое определяется как среднее между этими двумя крайними значениями:

$$H = \frac{H_1 + H_2}{2} \quad (3.13)$$

Таким образом, расстояние между абразивными зёрнами или их количество на единице рабочей поверхности инструмента-притира является важной характеристикой и во многом определяющим фактором режущей способности инструмента [44]. Как показывает анализ, решение данной задачи получается более достоверным в случае введения и учета величины критической глубины заделки R_z (шаржирования), начиная от которой происходит его выравнивание под действием усилия резания.

Как видно из рис.3.11 выход-контакт абразивного зёрна при подходе его центра к рабочей поверхности на расстоянии $\frac{H}{2}$. Чем большее давление инструмента-притира на обрабатываемую поверхность, тем быстрее происходит выход, а следовательно повышается производительность обработки.

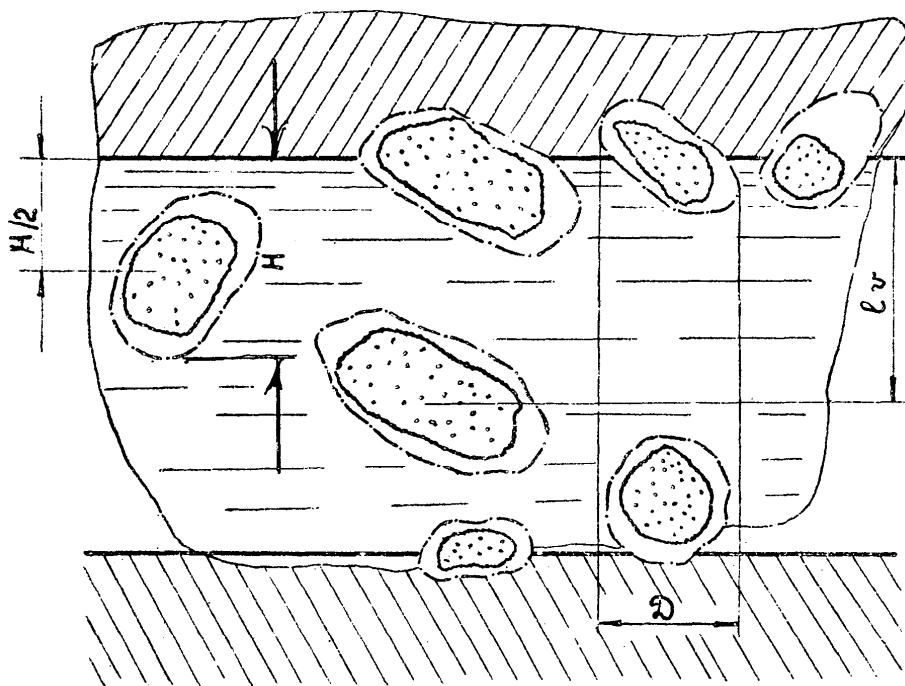


Рис.3.11 – Иллюстрация к пояснению средневероятностного положения абразивного зёрна в приповерхностных слоях обрабатываемой детали и инструмента притира или сопрягаемых поверхностях арматуры

Теоретически удастся доказать, что дифференцированный уровень давлений в слое несжимаемой абразивно-доводочной смеси в процессе притирки прецизионных пар трубной арматуры имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\rho}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h^3 \frac{\rho}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} \right) = 12\rho v_2 + 6 \frac{\partial}{\partial x} (\rho v_x h) + 6 \frac{\partial}{\partial y} (\rho v_y h) + 12h \frac{\partial \rho}{\partial t}, \quad (3.14)$$

где h – толщина слоя абразивно-доводочной смеси в рассматриваемом сечении; μ – коэффициент динамической вязкости абразивно-доводочной смеси; ρ – консистентность смеси; v_x, v_y, v_2 – составляющие скорости движения одной поверхности относительно другой по направлению соответствующих координатных осей.

Толщина абразивно-доводочной смеси определяется из уравнения:

$$h = \gamma_n - \gamma \cos \gamma - e \cdot \cos(180^\circ - \varphi), \quad (3.15)$$

где γ, γ_n – радиусы обрабатываемой детали и поверхности трения; e – некруглость детали.

Если учесть, что угол γ весьма мал, то можно принять $\gamma_n - \gamma(\cos \gamma) = \sigma$, где σ радиальный зазор в системе «инструмент-деталь». Тогда

$$h = \sigma(1 - \varepsilon \cdot \cos \varphi), \quad (3.16)$$

где ε – относительный эксцентриситет: $\varepsilon = \frac{e}{\sigma}$.

Максимальное значение h_{\min} толщина смазочного слоя абразивно-доводочной смеси принимает при $\varphi = 180^\circ$:

$$h_{\min} = \sigma(1 - \varepsilon), \quad (3.17)$$

Толщина слоя основного технологического материала h_m в сечении с координатой Q_m , в котором давление p достигает максимума

$$h_m = \sigma(1 + \varepsilon \cdot \cos \varphi_m), \quad (3.18)$$

Уравнение позволяет определить рабочую способность слоя технологического материала. Для внутридоводочных станков с горизонтальным расположением шпинделя после интегрирования получим:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 6\mu \cdot v_x \cdot \frac{h - h_m}{h^3} \quad (3.19)$$

Давление P_v в сечении смазочного слоя, расположенном под углом φ к линии центра инструмента-притира и обрабатываемой детали, находим в полярных координатах путем интегрирования в соответствующих пределах:

$$P_\varphi = 6 \frac{\mu \omega}{\psi^2} \int_{\varphi_1}^{\varphi} \frac{\varepsilon(\cos \varphi - \cos \varphi_m)}{(1 + \varepsilon \cdot \cos \varphi)^3} d\varphi, \quad (3.20)$$

где ω — угловая частота вращения инструмента-притира; φ_1 — угол, определяющий начало эпюры давлений; ψ — относительный радиальный зазор: $\psi = \sigma / \gamma$.

Элементарная сила dP нормального давления на площадке $dS = \gamma L d\varphi$ с координатой φ равна

$$dP = \rho_\varphi dS = \rho_\varphi \gamma L d\varphi, \quad (3.21)$$

где L — рабочая длина инструмента-притира.

Несущая смазочного слоя абразивно-доводочной смесью инструмента-притира выражается как равнодействующая ρ эпюры внутренних давлений,

уравновешивающая внешнее давление инструмента-притира. Из (3.20) и (3.21) получаем

$$\rho = \frac{3\mu\omega}{\psi^2} ld \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos[\pi - (\varphi + \varphi_2)] d\varphi \cdot \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\varepsilon(\cos \varphi - \cos \varphi_m)}{(1 + \varepsilon \cdot \cos \varphi)^3} d\varphi, \quad (3.22)$$

где α – диаметр инструмента-притира; φ_m – угол, определяющий положение линии центров инструмента-притира и обрабатываемой детали относительно линии действия внешней нагрузки; φ_ε – угол, определяющий конец эпюры удельных давлений смазочного слоя абразивно-доводочной смеси.

Выражение приводим к следующему виду:

$$P = \frac{\mu\omega}{\psi^2} ld \phi_p \quad (3.23)$$

где ϕ_p – безразмерный коэффициент несущей силы.

$$\phi_p = 3 \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos[\pi - (\varphi + \varphi_a)] d\varphi \cdot \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\varepsilon(\cos \varphi - \cos \varphi_m)}{(1 + \varepsilon \cdot \cos \varphi)^3} d\varphi. \quad (3.24)$$

Значение коэффициента ϕ_p в зависимости от угла охвата (φ_1, φ_2) и различных соотношений размеров приведено в [27,63,169,177].

Основные зависимости гидродинамической теории смазки используются для определения потерь мощности на преодоление сопротивления вращения инструмента-притира N_u в процессе абразивной доводочно-притирочной обработки и расхода абразивно-доводочной смеси G_{CM} :

$$N_u = \frac{\mu\omega^2}{2\psi} ld^2 \phi_T, \quad (3.25)$$

где ϕ_T – безразмерный коэффициент сопротивления вращения инструмента-притира.

Количество абразивно-доводочной смеси необходимого для обеспечения нормальной работоспособности и течения процесса резания-царапания:

$$G_{см} = \frac{1}{2} \psi l d^2 q, \quad (3.26)$$

где q – безразмерный коэффициент расхода абразивно-доводочной смеси.

Температура рабочей среды при абразивной доводочно-притирочной обработке определяют при некоторых предположениях на основе решения уравнения теплового баланса:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4; \quad (3.27)$$

где Q – теплообразование в зоне резания-царапания;

Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 – тепло, отводимое инструментом-притиром.

Для случаев обеспечения высокой герметичности запорной трубной арматуры только абразивная доводочно-притирочная обработка является технологически возможным методом позволяющим:

- получить шероховатость поверхности до $R = 0,1 \div 0,025$ мкм и отклонения от требуемой геометрической формы обработанных плоских, цилиндрических и сферических поверхностей в пределах $1,0 \div 3,0$ мкм. Технологическое преимущество механической абразивной доводочно-притирочной обработки также заключается в том, что за одну операцию часто можно осуществить сначала черновую обработку – сьем припуска, а затем чистовую окончательную обработку, при которой достигается требуемая форма и точность размеров обрабатываемой поверхности детали, состояние

поверхностного слоя определяются рядом факторов процесса абразивной доводочно-притирочной обработки, которые можно разделить на несколько групп;

- факторы, определяющие технологические характеристики процесса, то есть его условия и режимы: род абразива и неабразивной части абразивно-доводочной смеси, материалы притира и детали, состояние их поверхностных слоев: зернистость, консистенция, давление, твердость материалов притира и детали;

- факторы, характеризующие кинематические характеристики процесса – это соотношения угловых скоростей и линейных размеров звеньев исполнительного механизма доводочного станка, определяющие величину и законы изменения скорости и ускорения относительного движения детали по притиру;

- факторы, определяющие динамические характеристики процесса или, так называемые, динамические факторы – это средняя величина и закон изменения силы взаимодействия детали через абразивную прослойку с притиром, а также амплитудно-частотные характеристики процесса, зависящие от величин и взаимодействия технологических и кинематических факторов, в частности, от давления, скорости и законов их изменения по траектории относительного движения элементарных площадок притир-деталь;

- факторы, определяющие геометрические характеристики – точность формы рабочей поверхности притира и деталей, разноразмерность деталей в партии перед обработкой (технологическая наследственность), форма канавок для подвода абразивной суспензии, форма «вырезов» на рабочей поверхности притира, относительное расположение осей притира, сепараторов и деталей в последних, влияющих на величины и законы распределения (изменения) некоторых технологических и кинематических факторов;

- масштабный фактор – соотношение линейных размеров обрабатываемых поверхностей или отдельных их участков и притира.

Многие из указанных факторов – случайные величины, поэтому количественные и качественные показатели процесса абразивной доводочно-притирочной обработки являются переменными во времени в зависимости от случайного сочетания доминирующих факторов процесса обработанной поверхности. После доводочно-

притирочной обработки, как правило, могут быть выше, чем после тонкого шлифования, суперфиниша и хонингования. Обращает на себя внимание и тот факт, что без знания вероятностного положения абразивного зерна на притире нельзя решать вопросы технологической наследственности, с проблемой износостойкости прецизионных пар трубной арматуры.

Согласно классификации видов износа деталей машин [168] абразивному износу прецизионных пар запорной части арматуры, который оценивается износостойкостью сопрягаемых деталей следует придавать должное значение при производстве и их ремонте. Главным образом, абразивный износ при эксплуатации трубной арматуры – это факт технологической наследственности, влияющий на стратегию обеспечения эксплуатационной надежности конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем.

Исследованиям влияния вспомогательного материала технологического назначения на формирование эксплуатационной наследственности прецизионных пар трубной арматуры, на их износ посвящено сравнительно мало работ. Подобные исследования были проведены для топливной аппаратуры дизелей [64].

Используя предложенную методику расчета, путем рациональности решения технологии доводочно-притирочных работ при производстве и ремонте трубной арматуры, можно прогнозировать надежность и долговечность эксплуатации высокоточных изделий под влиянием технологической наследственности. Так, прочность абразивного зерна является определяющим в формировании срока службы трубной арматуры [9]. Начальные значения параметров фиксируются с помощью измерений и расчетов. Так, применительно к шероховатости поверхности запорной части трубной арматуры нужно знать зависимости измерения параметров во времени.

При аналитическом решении задачи возможны допущения, предусматривающие действие или отсутствие отдельных факторов. Таковыми могут быть вибрации, изменение жесткости, влияние температурных деформаций и др. Моделью изменения шероховатости может служить определенная зависимость типа:

$$R_z(\tau) = R_{z0} \pm Ce^{-a\tau} \quad (3.28)$$

Коэффициенты в этом уравнении должны отражать влияние технологической наследственности на изменение шероховатости во времени, а следовательно будет изменяться геометрическая точность сопрягаемых (рис. 3.10). Все это в конечном итоге снижает эксплуатационную надежность трубной арматуры.

3.5. Условия изменения коэффициентов влияния технологического наследования при окончательной обработке прецизионных пар арматуры

Исследования, которые проведены нами на различных типах прецизионных пар, дают основание утверждать, что ведущее место в нарушении эксплуатационной надежности принадлежит технологической наследственности финишных операций - абразивной доводочно-притирочной обработке. Осуществляя ряд технических решений, можно снизить износ прецизионных пар арматуры, но предотвратить его трудно. Ибо газовое оборудование и трубопроводные системы работают в очень сложных условиях, на них действует ряд неблагоприятных факторов, где технологическая наследственность существенно влияет на износ сопрягаемых деталей трубной арматуры. Доказано, что основными моментами технологической наследственности – это перенос определенного свойства от предшествующей операции к последующим, а также количественная сторона вопроса, характеризуемая передачей k . Выбор маршрута обработки тесно связан с определением коэффициентов передач на всех операциях технологического процесса. Неизменность свойств обрабатываемого изделия характеризуется значением $k=1$, что означает не только полный перенос свойств, но и сохранение их в готовом изделии (рис.3.12).

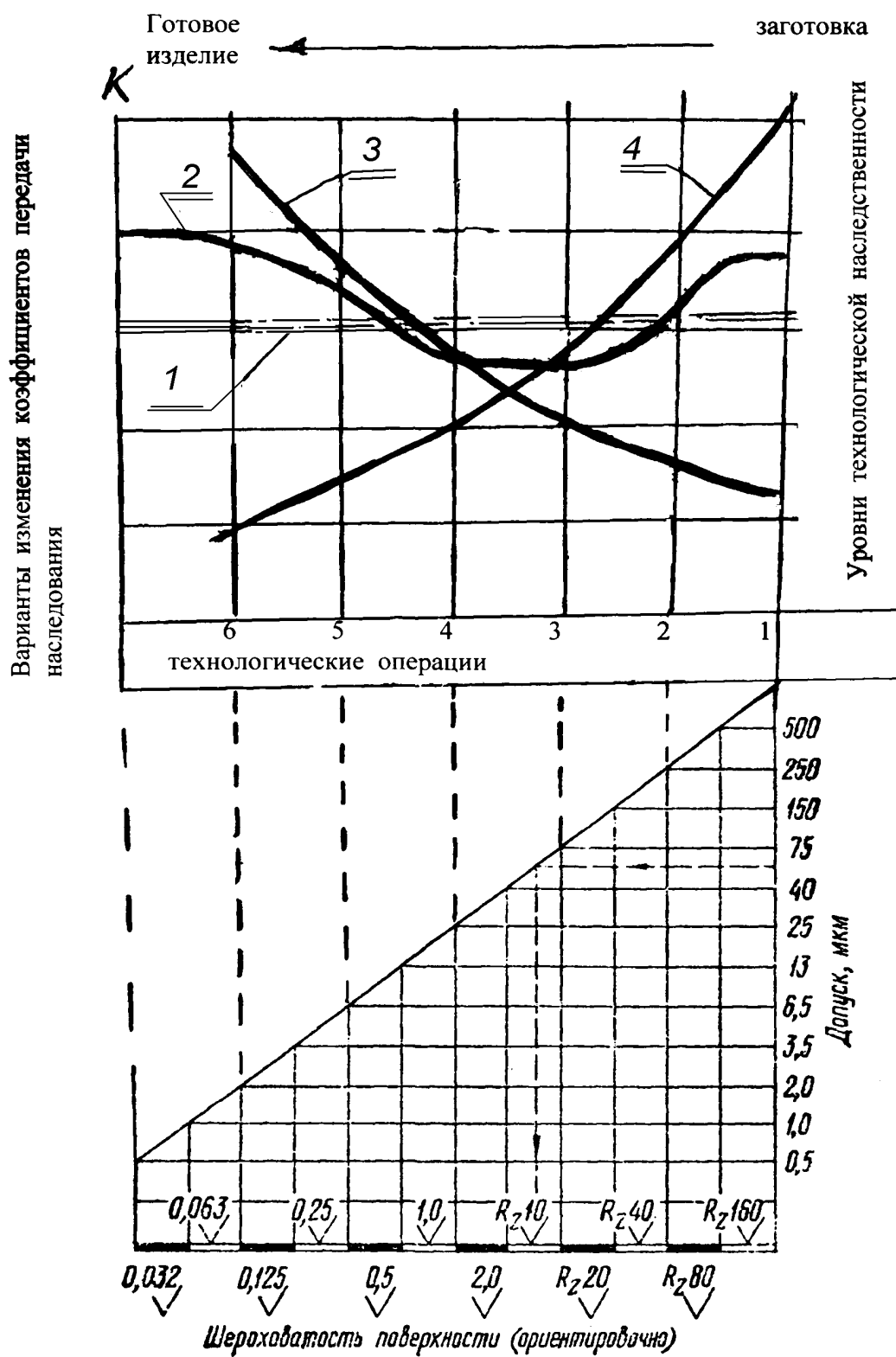


Рис.3.12 – Формирование технологической наследственности:

1 – неизменность свойств; 2 – нестабильность свойств;
 3 – монотонность свойств и 4 – постоянное изменение свойств (величины)
 технологического наследования

Если проектирование технологического процесса проводится с учетом явлений технологической наследственности, то неперенным условием должна явиться монотонность изменения k . Отрицательное свойство, возникшее на операции 1 , должно планомерно ликвидироваться, причем на всех операциях $k > 1$. Положительное же свойство должно не только сохраняться, но и развиваться, чему соответствует условие постоянного уменьшения k при всех значениях $k < 1$ на всех операциях процесса.

В большинстве случаев при технологическом наследовании приходится иметь дело с отрицательными свойствами, что является характерным (рис. , в) и должен лежать в основе проектирования технологии производства и ремонта высокоточных конструктивных элементов трубной арматуры.

Наиболее благоприятным является такой процесс, когда отрицательное свойство не может возникнуть или ликвидация отрицательного свойства происходит сразу же после его возникновения.

В связи с этим встает вопрос о выяснении закономерности изменения значения k в ходе технологического процесса.

Для решения поставленной задачи может быть привлечен экономический принцип проектирования и найдена функция $x_{(n+1)} = f(x_n)$, то есть зависимость исходных x_n и выходных $x_{(n+1)}$ свойств высокоточных деталей. Для отыскания функции при разработке технологии предлагается следующее: что отрицательное свойство x_1 на операции 1 трансформируется в $x_2 (K_1 > 1)$. Поскольку известна общая зависимость весомости достигаемых функций X_{n+1} , куда входят допустимые отклонения формы и размеров, шероховатость и шаржируемость поверхность при стоимости x_2 составляет S_2 , то операция 2 , которая должна быть, исполнена со стоимостью S_3 , становится исходной по ранее полученной величиной x_2 . Исходное свойство x_3 , полученное после операции 2 , в результате производства операции со стоимостью S_4 дает x_5 и т. д. Характер нарастания стоимости в ходе технологического процесса определяется постоянным и закономерным увеличением сложности и трудности проводимой работы,

увеличением времени обработки и применением более дорогого оборудования, технологической оснастки и вспомогательных материалов, то есть в общем виде характеризующейся соответствующей прогрессией.

Эта зависимость показывает связь входных и выходных параметров прецизионных пар трубной арматуры, что на рисунке показана стрелками (см. рис.3.13).

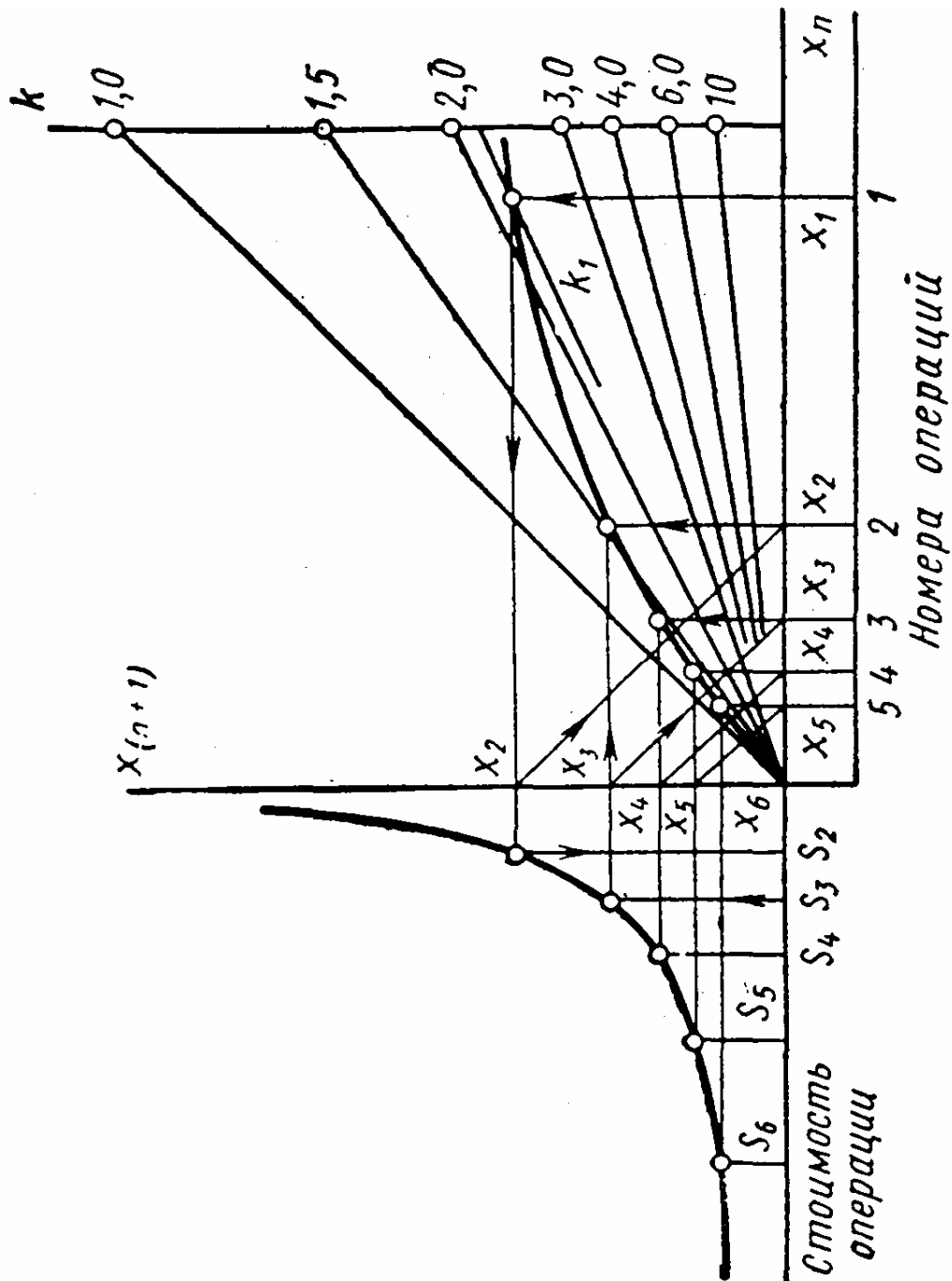


Рис.3.13 – Иллюстрация к выгодному выбору значений коэффициентов передач технологического наследования

Из этого видно, что искомая функция имеет важное свойство: на начальных операциях работа проводится с относительно большими значениями k ; а на конечных - с малыми. Это соответствует известному экономическому положению о целесообразности более интенсивной ликвидации отрицательных свойств на начальных грубых операциях, стоимость которых значительно ниже стоимости конечных операций технологического процесса. Нарушение данной ситуации при нерациональной обработке деталей запорной арматуры, влекут за собой снижение качества изготовления или ремонта деталей. Искомая функция же может быть представлена:

$$x_{n+1} = ax_n^b.$$

Кроме того, известно, что

$$x_{n+1} = \frac{1}{k} x_n,$$

поэтому

$$k = \frac{x_n^{1-b}}{a}.$$

Любую операцию технологии производства и ремонта трубной арматуры с исходным свойством обрабатываемой детали характеризуемым значение x_n , можно проводить на базе существующей закономерности, позволяющей определять коэффициенты передачи k . При этом достигается выходное свойство X_{n+1} .

Наиболее благоприятным является тот вариант технологического процесса производства и ремонта прецизионных пар трубной арматуры следует принимать тот, где на предшествующих (начальных) операциях происходит практически ликвидация отрицательных свойств. В таких случаях можно утверждать о значениях k для операций 1,2 ($k_2 > k_1$).

РАЗДЕЛ 4

ПРОГНОЗ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

4.1. Современное воззрение на вспомогательные материалы технологического назначения как систему

Существующая большая гамма вспомогательных материалов, используемых в технологических целях при производстве и ремонте разнообразных машин и оборудования даже в нормативно-технической документации не имеет точного научного их определения [12, 13, 38, 43, 46]. Это подтверждается при изучении состояния вопроса по техническим моющее-очищающим средствам (ТМОС), абразивно-доводочным составам (АДС), смазочно-охлаждающим средствам (СОС), сварочным (СвГ) и предпокрасочным (ПкГ) грунтам, техническим моющее-очищающим композициям (ТМОК), формовочным литейным смесям (ФлС), сварочным флюсам (СвФ). Основу вспомогательных материалов составляют, как правило, химически-активные, поверхностно-активные, огне- и взрывоопасные вещества органического и неорганического происхождения. Естественно, в век компьютерных технологий подобная ситуация, сложившаяся вокруг вспомогательного материаловедения, не может положительно отражаться на надежности и долговечности новой и эксплуатируемой техники и технологии производства и ремонта машин, на формировании степени их опасности на окружающую среду [108, 168].

Исследованиями, которые проводились в последние годы удалось доказать, что вспомогательные материалы технологического назначения – это не что-то второстепенное и маловажное, так как от их состава и массовой доли химических ингредиентов зависят не только качество обработки

деталей, но и экологическая безопасность технологического процесса ремонтного производства. Особое значение в решении задач по данной проблеме принадлежит теории прогнозирования формирования состава эффективных вспомогательных материалов, оцениваемых техническими, экономическими, санитарно-экологическими и другими показателями (рис.4.1). Важным из показателей выгодности состава вспомогательного материала, которые должна обеспечить методика выбора ингредиента, является глубина его поиска. Чем ниже уровень структурной единицы вспомогательного материала, тем сложнее алгоритм поиска в нем выгодности ингредиента и тем выше стоимость проектных работ [64, 162]. В тоже время, чем ниже уровень структурной единицы, тем ниже стоимость проектно-технологических работ создания вспомогательного материала. В связи с этим при проектировании рецептуры вспомогательного материала необходимо стремиться обеспечить минимальные затраты на его разработку. По результатам наших исследований стало общепринятым, что смена состояний вспомогательных материалов любого технологического назначения должна расцениваться как последовательная смена его качества. Это может быть вообще не только в процессе его создания, но и при эксплуатации и хранении. В дальнейшем под термином состав (рецептура) будем понимать «система». В общем виде каждому фиксированному моменту времени соответствует мгновенное состояние системы, которое фактически отражает выходные показатели любого вспомогательного материала. Связь описанных логических положений можно описать набором чисел: $a_1, a_2, a_i, \dots, a_n$, отражающих основные свойства вспомогательного материала с требуемым приближением к действительному качеству. Очевидно, что качество вспомогательного материала любого технологического назначения – это его способность функционировать в соответствии с выходными показателями во времени [97].

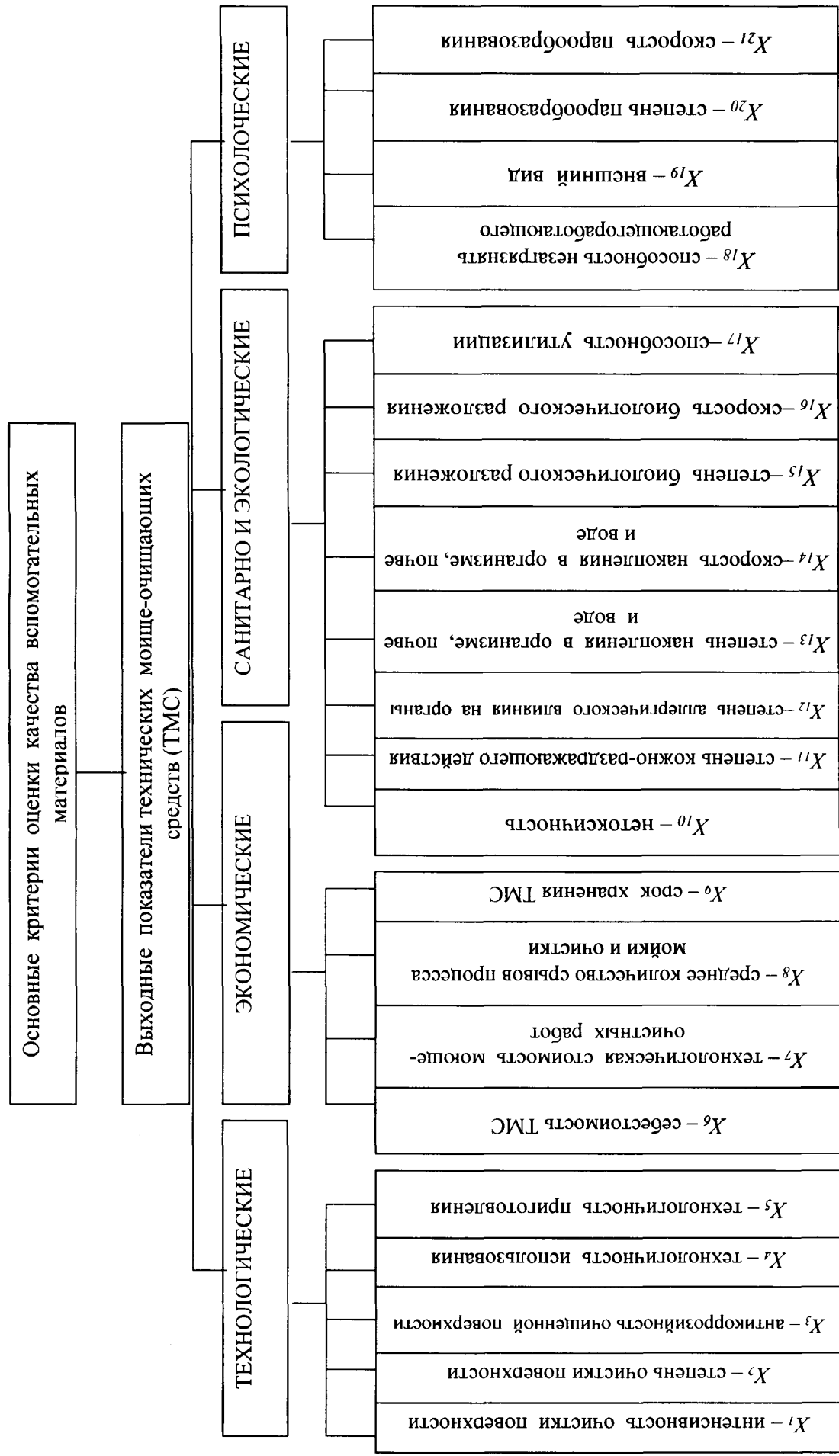


Рис.4.1. Критерии оценки качества вспомогательных материалов, используемых при производстве и ремонте машин и оборудования

Формирование качества вспомогательного технологического назначения может быть как неуправляемым производственным процессом, обусловленным совокупностью некоторых явлений, так и управляемым. Управляемый производственный процесс – это целенаправленные действия для достижения заранее известного эффекта. В дальнейшем используем термин «формирование» как определение целенаправленных действий.

Качество их зависит от последовательности введения ингредиентов в основную массу (смесь) или агрегирования с учетом свойств исходных ингредиентов, а также от технологического режима [64,151]. Технологически первым воздействием на изготавливаемый состав любого назначения вспомогательного материала, влияющим на надежность (свойства) является последовательный порядок введения ингредиентов в состав основной массы и методы их воздействия на формирование свойств качества. Изменение же свойств исходного химического продукта происходит во времени, а в ряде случаев формирование качества вспомогательных материалов не отвечает современному воззрению на тот или иной продукт, на его роль в обеспечении надежности и долговечности эксплуатации деталей и узлов оборудования. В тоже время перед производителем требуется осуществлять выпуск тех вспомогательных материалов, которые при минимальной себестоимости будут заметно влиять на повышение эксплуатационной надежности производимой или ремонтируемой техники.

4.2. Системный подход к проектированию состава вспомогательного материала

Наиболее широко распространенным и плодотворным является множественный подход к синтезу определения, который вытекает из самого определения. Множество образуется из элементов, обладающих некоторыми свойствами и находится в некоторых отношениях между собой или элементами других множеств [96]. Вспомогательный материал

определяется: ингредиент, его массовая доля, отношение, свойство. Однозначное и полное значение этих категорий полностью определяет состав, его структуру, качество, эффективность и т.д. Целью проектирования рецептуры, т.е. формулирование качества любого вспомогательного материала технологического назначения является конкретизация состава, исходя из требуемого качества вспомогательного материала для определенных технологий производства и ремонта.

Проектирование рецептуры вспомогательных материалов, при котором на первое место выдвигаются не анализ составных частей или отдельных ингредиентов системы как таковых, а характеристика системы в целом на основании раскрытия механизмов взаимодействия ингредиентов и целостность состава будем называть системным подходом.

Следовательно, вспомогательный материал любого технологического назначения будем рассматривать как функционирования некоторой системы в форме сложных комбинаций химически-поверхностно активных и др. веществ.

Это значит, что качества абразивно-доводочных и полировальных смесей, моюще-очищающих составов для технологических целей, электролитов, формовочных литейных смесей, сварочных грунтов, смазочно-охлаждающих жидкостей и т.п. рассматриваем как последовательная смена состояния системы во времени (рис.4.2). Смена состояния вообще может иметь место не только в ходе эксплуатации вспомогательного материала, но и в бездействующей системе. В общем виде каждому фиксированному моменту времени соответствует мгновенное состояние системы, которая фактически отражает выходные показатели любого вспомогательного материала. Связь описанных логических положений можно описать набором чисел : $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$, отражающих основные свойства вспомогательного материала с требуемым приближением к действительному качеству. Очевидно, что качество

вспомогательного материала любого технологического назначения - это его способность функционировать в соответствии с техническими, экономическими, экологическими, санитарно-гигиеническими и др. условиями за данный период времени при заданных условиях эксплуатации.

Изготовленный тот или другой вспомогательный материал при хранении, транспортировке, не принимая во внимание условия его эксплуатации, с одной стороны, не лишен реакций, вызываемых физической, химической, композиционной или формообразующей несовместимостями.

С другой же стороны на состав воздействует влага, газы, пары, окружающая температура и другое. Естественно, что все это оказывает определенный отпечаток на качество вспомогательного материала.

Если рассматривать материал как последовательную смену состояний состава во времени, то величины $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, оказываются функциями времени $a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_i(t), \dots, a_n(t)$. Эти функции характеризуют качество вспомогательного материала в любое время. В классической теории регулирования для одномерной системы может служить, например, выходной технический показатель. Для вспомогательного же материала, характеризующегося многими техническими, экономическими, санитарно-гигиеническими, психологическими и др. показателями только одной характеристики явно недостаточно даже для весьма приближенного суждения о его качестве.

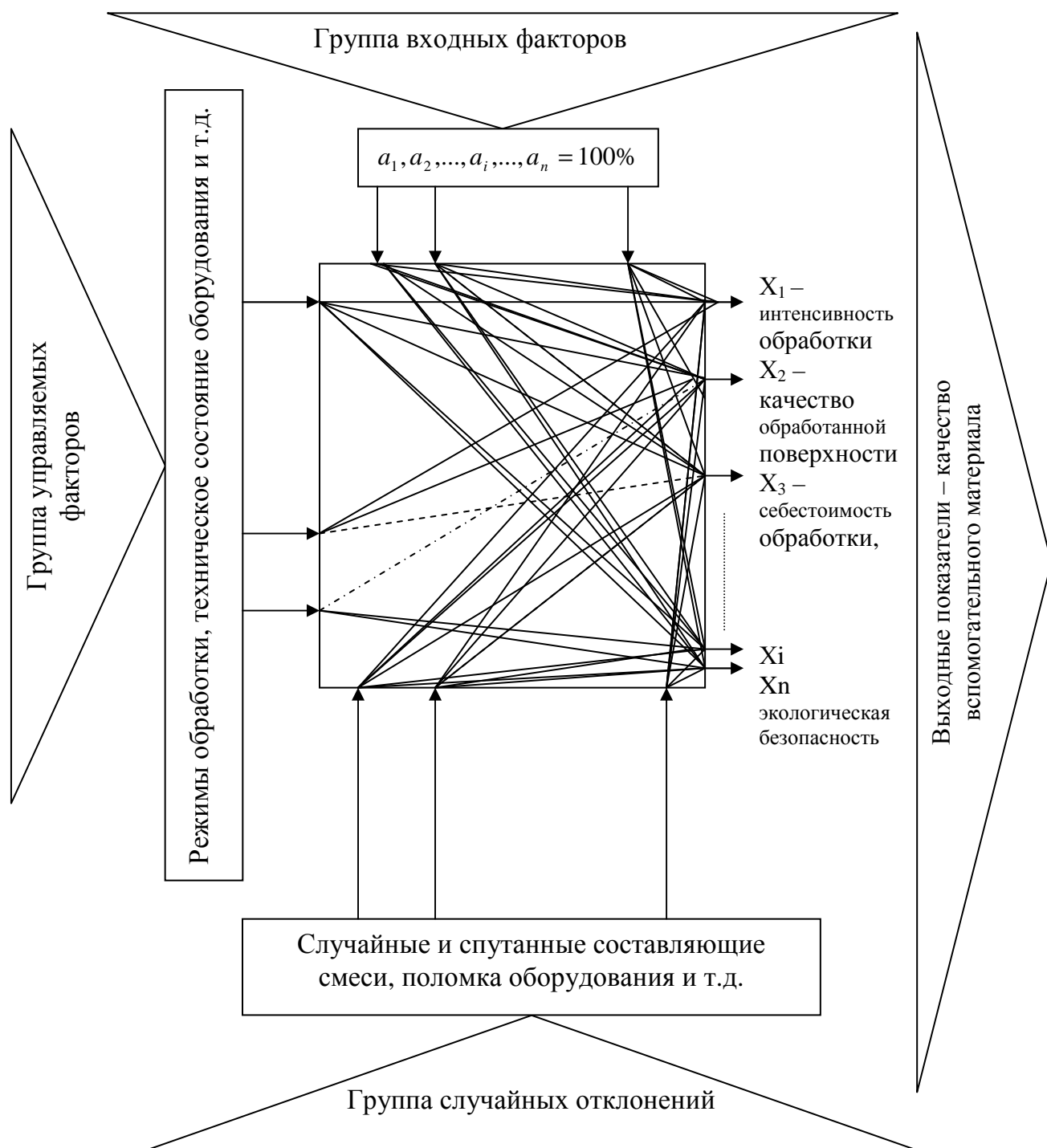


Рис.4.2. – Модель формирования возмущающих воздействий на выходные показатели вспомогательного материала

Основными характеристиками системы любого технологического материала являются те критерии, которыми оценивается система. Многие критерии не являются сигналами в функционирующей системе, но их следует знать и уметь определять с тем, чтобы отдать предпочтение тому или иному варианту – оценочному критерию качества.

Если же есть характеристики вспомогательного материала, которые не являются непосредственно определяющими в ходе эксплуатации изделия и не имеют численных значений, то для их определения необходимо построить систему логических и аналитически связанных зависимостей. Это значит, что требуется учитывать все аспекты, которые позволяют создать рецептуру вспомогательного материала, отвечающим более полному требованию технологии, экономики и экологии. В связи с тем, что параметры - качество одного и того же химического ингредиента не могут быть постоянными, то качество вспомогательного материала будет обладать различными характеристиками. Отсюда ясно, что вспомогательный материал следует рассматривать как разновидность случайного процесса. Без такого подхода практически не в силах будет управлять разбросами параметрами вспомогательного материала любого технологического назначения. Естественным, обеспечить качественное проектирование рецептуры вспомогательного материала должно исходить из теории смесеобразования, то есть технологической совместимости ингредиентов.

Как указывалось ранее, изготовленный тот или другой вспомогательный материал при хранении, транспортировке, не принимая во внимание условия его эксплуатации, с одной стороны, не лишен реакций, вызываемых физической, химической, композиционной или формообразующей несовместимостями [64], а с другой стороны, на состав воздействует влага, газы, пары, окружающая температура и другое. Естественным, что все это оказывает определенный отпечаток не только на качество вспомогательного материала, но и на его экологическую безопасность. Установлено, что любой вспомогательный материал ремонтно-эксплуатационного производства имеет какое-то определенное исходное состояние, а качество ингредиентов формирующий состав (рецептуру) находится в прямой зависимости от массовой доли возможных примесей, неоднородности исходных химических продуктов. Если учесть тот факт, что большинство химических ингредиентов не инертны и это в какой-то степени

отражается не только на сроках годности, но и самом качестве при использовании вспомогательного материала. Количество и качество химических ингредиентов, объединенных в систему, составляет рецептуру вспомогательного материала. Таким образом, рецептура-состав вспомогательного материала технологического назначения представляет собой определенным образом связанной совокупностью химических ингредиентов и их норму (массовой доли) в системе.

При автоматизированном проектировании каждый химический ингредиент или свойства его, или преобразователя определяется некоторой функцией его параметров.

Следовательно характеристики состава вспомогательного материала удобно привлекать и многомерное пространство, а величины $a_1(t)$, $a_2(t)$, $a_3(t)$, . . . , $a_n(t)$ интерпретировать как координаты точки в n -мерном фазовом пространстве.

Тогда совокупность точек в фазовом пространстве, описывающая состояние системы, будет представлять собой фазовую траекторию нашей системы. Исходя из этого, вспомогательный материал при комплексной оценке качества характеризуется не только техническими или санитарно-гигиеническими характеристиками. В некотором смысле, указанные выше характеристики системы являются сигналами, так или иначе преобразовываемые системой. Технические же характеристики, как известно, являются основополагающими, характеризуются ее параметрами, а величины, определяющие первоначальное его состояние, называются исходными. Так для каждого вспомогательного материала всегда имеется какое-то исходное состояние.

Качество ингредиентов, находящееся в прямой зависимости от качества примесей, неоднородности исходного вещества и. т. д. Кроме того, химические ингредиенты, в подавляющем своем большинстве, не инертны. И это в какой-то степени отражается не только на сроках годности, но и самом качестве вспомогательного материала. Количество и качество химических

ингредиентов, объединенных в систему, составляет рецептуру вспомогательного материала. Ясно, что задачей проектировщика рецептуры вспомогательного материала является выбор рецептуры определенным образом связаной совокупности химических ингредиентов и их норм в системе. Кроме того, характеристиками системы - технического материала - являются те критерии, которыми оценивается система. Эти критерии не являются сигналами в функционирующей системе, но их следует знать и уметь определять с тем, чтобы отдать предпочтение тому или иному варианту.

Раз есть характеристики вспомогательного материала, которые не являются непосредственно определенными в ходе эксплуатации системы (например, требования санитарии и гигиены), то для их определения необходимо построить такую систему логических и аналитически связанных зависимостей. Это значит, что учитываются, все аспекты, которые позволяют выбрать рецептуру вспомогательного материала, отвечающим более полному требованию технологии, экономики и социологии. Однако параметры - качество одного и того же химического ингредиента не могут быть постоянными. Следовательно, вспомогательный материал будет обладать различными характеристиками и порой, в общем виде, случайными. Отсюда ясно, что вспомогательный материал следует рассматривать как разновидность случайного процесса. Без такого подхода практически не в силах управлять разбросы параметров вспомогательного материала любого технологического назначения, а отсюда обеспечить качественное проектирование его рецептуры. Исходя из чего, теоретически рассматриваем материал любого технологического назначения при проектировании и его производства как процесс протекающим абсолютно в соответствии с намеченным планом или с погрешностями, вызванными реальными обстоятельствами. В первом случае дело имеем с идеальным вспомогательным материалом, что практически произвести невозможно.

Итак, все показатели вспомогательного материала в совокупности позволяют характеризовать его как процесс некоторым критерием, который в векторном n -мерном пространстве показателей принимает вид вектора состояние вспомогательного материала. Обозначим вектор состояния идеального технологического процесса X_0 (рис.4.3), который является обобщенной эталонной характеристикой данного материала. В действительности вектор состояния реального вспомогательного материала X не совпадает с вектором X_0 . Вызвано это тем, что, рассматривая данный вопрос системным подходом, удастся любой вспомогательный материал представить как некоторый преобразователь информации. Искомой информацией в данном случае может служить свойства ингредиентов, входящих в состав вспомогательного материала, их номенклатурное и дозовое количество. Номенклатурный их состав и дозовое количество, как преобразователя, с учетом свойств могут определяться некоторой функцией его параметров.

Свойства же самого составляющего или преобразователя определяются некоторой функцией его параметров. Для вспомогательного материала это параметры $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n$. Конечным результатом являются выходные показатели материала любого технологического назначения. Ясно, что вид функции преобразования $f(a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n \cdot t)$ в общем случае зависящий и от времени t , определяется алгоритмом расчета данного показателя (X_i). В свою очередь, данный показатель оказывает влияние на соответствующие свойства исходного составляющего.

Обобщенный критерий качества материала, обращаясь снова к векторным представлениям, можно представить вектором $\overline{x_{ex}}$, составляющими которого будут векторы $\overline{x_{exi}}$, модули которого представляют собой свойства исходного продукта.

Погрешности $\Delta \overline{x}$ качества вспомогательного материала вызываются:

- отклонениями от теоретического представления качества вспомогательного материала, являющегося следствием ограниченных возможностей в сырье;

- отсутствием в каталогах научно-обоснованных данных по свойствам составляющих вспомогательных материалов;

- отсутствием надежных методов и средств оценки свойств, составляющих вспомогательных материалов, по которым можно было бы с уверенностью утверждать об их свойствах, а также другими причинами, в итоге действия которых образуются отклонения от оптимального состава вспомогательного материала;

- отклонениям в параметрах исходных составляющих вспомогательного материала;

- отклонениями в параметрах состава (процесса) вспомогательного материала, регламентирующих качественные его показатели.

Первая группа отклонений составляет погрешности выбранного метода оптимизации состава вспомогательного материала, которую назовем методической ошибкой процесса. Вторая группа отклонений характеризует погрешности исходного материала - продукта или входную ошибку. Погрешности, вносимые в качество вспомогательного материала - это ошибки исполнителей, проектировщиков и производителей, несовершенством оборудования, режимов производства, степенью влияния внешней среды и т. д., то есть составляют погрешности третьей группы. Эта группа погрешностей характеризует рабочую ошибку:

Погрешность $\Delta \bar{x}$, в обобщенном виде характеризующая отклонения показателей оборудования, приборов управления и контроля, погрешности исполнителей от расчетных значений назовем ошибкой процесса производства машин, приборов, оборудования. Перед химической промышленностью по многим видам вспомогательных материалов ставится

задача приготовления полуфабрикатов в вид «консервантов» с повышенной потенциальной энергией, то есть «агрегатов».

Нами доказано, что разработанные и разрабатываемые рецептуры ТМОК, АДС, АПС и других вспомогательных материалов, в которые закладывается комплекс выходных свойств, представляют собой сложные, многоингредиентные составы, порой с наличием несовместимых между собой ингредиентов. Формирование композиции как системы достигается агрегатированием [158,163,164].

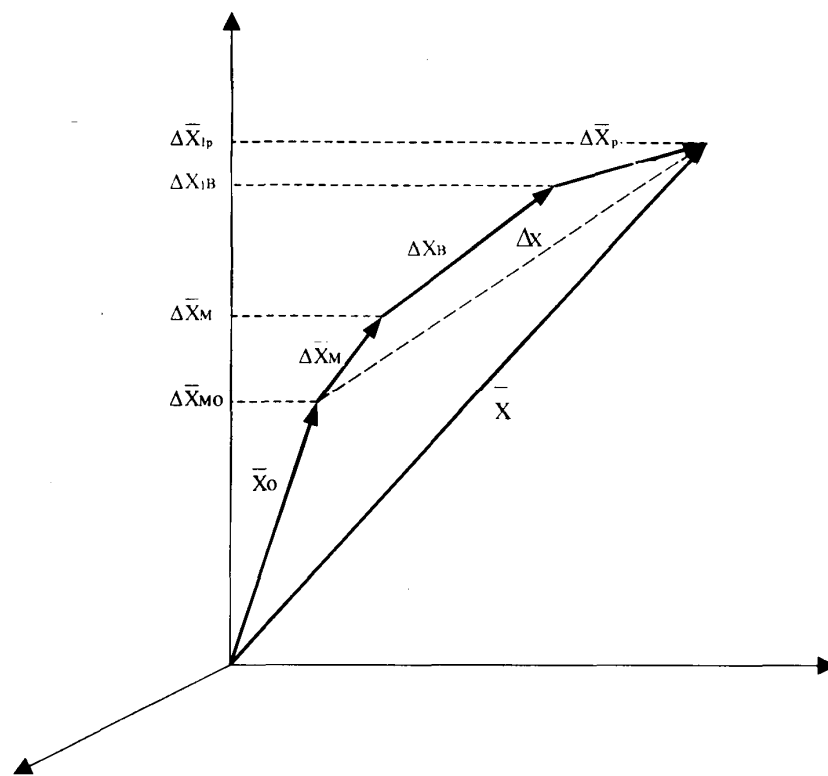


Рис.4.3 – Ошибка процесса формирования качества вспомогательного материала и ее слагаемые в векторном пространстве показателей ($n=3$)

Получение агрегатов, осуществляемое в виде автономного процесса, предусматривает определенный, постоянный регламент налаживания «консервируемости» ингредиентов в смеси. Такая задача ранее не ставилась. Так называемый мокрый способ механического перемешивания, который широко используется при производстве ТМС и СМС позволяет получить продукты для простых работ моечно-очистной обработки металлических

деталей машиностроения и ремонта, как по составу, так и по природе ингредиенты не допускают заметных химических реакций между собой, а получаемые составы не полностью удовлетворяют производство.

Все эти сведения должны регламентироваться технологической инструкцией, где главным нормативно-техническим документом является рецептура [168]. Рецептура вспомогательного материала по своему содержанию в общем случае представляет собой состав веществ с многофазной, многокомпонентной, иерархической структурой и со сложными взаимосвязями составляющих ингредиентов. Поиск выходных соотношений ингредиентов материала любого технологического материала, в том числе моюще-очищающего средства, смазочно-охлаждающих средств это установление доверительных границ, в пределах которых эти данные будут реальными составляет сущность управляемого метода проектирования рецептуры вспомогательного материала.

4.3. Математическая модель состава вспомогательного материала любого технологического назначения

Излагая теоретические основы и методы создания вспомогательных материалов, которые используются в практике ремонтно-эксплуатационных производств различных отраслей народного хозяйства рассмотрим на примере упрощенной схемы. Здесь действие каждого источника отклонении оценивается в отдельности, в то время как остальные источники отклонений "включены", то есть используем принцип суперпозиции.

Представим, процесс производства вспомогательного материала характеризуется показателями X_i ($i=1,2,3,...,n$). Каждому показателю соответствует определенное свойство X_{exi} исходного препарата. Очевидно, для идеального случая можно вспомогательный материал любого назначения в общем виде описать соотношением:

где, a_1, a_2, \dots, a_n - показатели идеальных составляющих вспомогательного материала;

t - время,

$X_{ex1}, X_{ex2}, X_{exi}, X_{exn}$ - коэффициент, характеризующий свойство входного ингредиента, к примеру олеиновой кислоты (рис. 4.4).

В реальных же условиях производственной практики возникают погрешности, которые вызваны:

- отклонениями от расчетного (теоретического) состава, являющимся следствием ограниченных возможностей данного предприятия (отрасли);
- отсутствием научно - обоснованных данных, на основании которых можно было бы подобрать эффективный состав, а также другими причинами (рис.4.4); в итоге действия этих причин и образуются отклонения от требуемого состава вспомогательного материала;
- отклонениями физико-механических свойств исходных материалов;
- отклонениями в параметрах (режимах) процесса от расчетных значений, зафиксированных в схеме оптимизации.

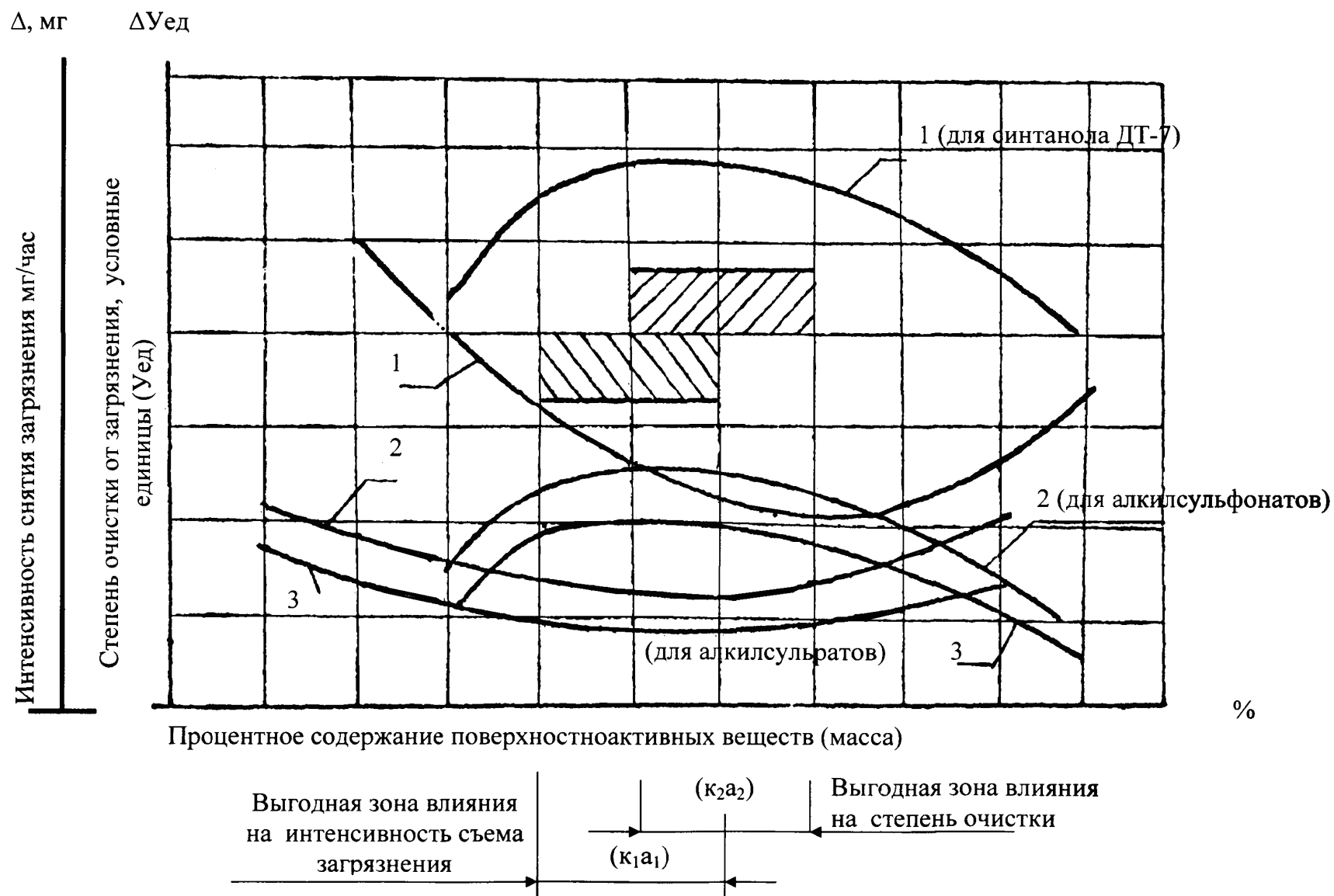


Рис.4.4. – Численные значения коэффициентов влияния поверхностно-активных веществ, определенных графическим методом по результатам экспериментальных исследований

Уравнение для реальных условий будет иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= f_1(a_1 + \Delta a_1, a_2 + \Delta a_2, \dots, a_n + \Delta a_n, t)(X_{ex1} + \Delta X_{ex1}) \\ X_2 &= f_2(a_1 + \Delta a_1, a_2 + \Delta a_2, \dots, a_n + \Delta a_n, t)(X_{ex2} + \Delta X_{ex2}) \\ &\dots\dots\dots \\ X_i &= f_i(a_1 + \Delta a_1, a_2 + \Delta a_2, \dots, a_n + \Delta a_n, t)(X_{exi} + \Delta X_{exi}) \\ &\dots\dots\dots \\ X_n &= f_n(a_1 + \Delta a_1, a_2 + \Delta a_2, \dots, a_n + \Delta a_n, t)(X_{exn} + \Delta X_{exn}) \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

где $\Delta a_1, \Delta a_2, \Delta a_n$ – погрешности в параметрах составляющих;

$\Delta X_{ex1}, \Delta X_{ex2}, \Delta X_{exi}, \Delta X_{exn}$ – отклонения от расчетных значений характеристик исходного составляющего.

Вычислим отклонение i -го показателя от расчетного значения. Тогда получим:

$$\Delta X_i = X_{exi}(f_i - f_{i0}) + \Delta X_{exi} f_{i0} + X_{exi} \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial f_i}{\partial a_{jo}} \right) \Delta a_j \quad (4.3)$$

В первой части уравнения погрешности показателя (4.3) имеет слагаемое, наглядно представляющее все перечисленные выше ошибки. Например, слагаемое $X_{exi}(f_i - f_{i0})$ представляет собой составляющую собой составляющую методической ошибки ΔX_M , вызванную оценкой показателя X_i . Слагаемое $\Delta X_{exi} f_{i0}$ есть составляющая ошибка входа ΔX_B для данного i -го показателя. В итоге, слагаемое $X_{exi} \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial f_i}{\partial a_{jo}} \right) \Delta a_j$, которое представляет собой ошибку, вызванную погрешностями осуществления технологического процесса, составляющая суммарную рабочую ошибку ΔX_P . Все перечисленные ошибки наглядно можно представить в векторном n -мерном пространстве.

В общем виде система уравнений погрешностей состояния качества технологического материала можно представить:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= \Delta X_{1M}, \Delta X_{1\theta}, \dots, \Delta X_{1p} \\ X_2 &= \Delta X_{2M}, \Delta X_{2\theta}, \dots, \Delta X_{2p} \\ &\dots\dots\dots \\ X_i &= \Delta X_{iM}, \Delta X_{i\theta}, \dots, \Delta X_{ip} \\ &\dots\dots\dots \\ X_n &= \Delta X_{nM}, \Delta X_{n\theta}, \dots, \Delta X_{np} \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

В самом деле, рассматривая уравнение погрешности i -го показателя технологического материала, все последующие рассуждения можно относить к этому показателю. Очевидно, что все выводы относительно уравнения погрешности i -го показателя могут быть применены и для любого другого показателя.

Пусть поставлена задача: определить составляющую методической ошибки ΔX_{im} при оценке показателя X_i технологического материала, формула составляющей будет иметь вид:

$$\Delta X_{i_m} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial X_i}{\partial X_j} \right)_0 \Delta a_j \quad (4.5)$$

где нуль у скобок означает, что коэффициенты влияния $\left(\frac{\partial X_i}{\partial X_j}\right)_0$ определяются при $\Delta a_j = 0$, то есть для идеального случая.

При определенных условиях погрешность в данном параметре возникает следствие:

- погрешностей в номенклатуре ингредиентов технологического материала;
- погрешностей в массовой доле ингредиентов;
- погрешностей в характеристиках ингредиентов, входящих в состав технологического материала и т. д.

Указанные выше погрешности, в свою очередь, могут возникать по причинам:

- разброса параметров номенклатурного состава, образующих блок (группу) ингредиентов технологического материала;
- неточностей в определении массовой доли составляющих или группы;
- разброса характеристик ингредиентов, вводимых в состав технологического материала;
- неточностей в компоновке структуры технологического материала, то есть при проектировании рецептуры;
- субъективным мотивам проектировщика рецептуры, вызванных индивидуальными различиями исполнителей;
- дополнительных погрешностей, вносимых в состав технологического материала при проектировании его рецептуры, то есть из-за паразитных параметров химических ингредиентов.

4.4. Формализованная модель проектирования состава технических моюще-очищающих композиций

Изложим математическую формализацию задачи построения оптимально-упорядоченного ряда при агрегатном методе проектирования технических моюще-очищающих средств применительно (рис.4.5) к использованию ее результатов для определения оптимальной или выгодной рецептуры вспомогательного материала применяемого в технологических целях при производстве и ремонте оборудования.

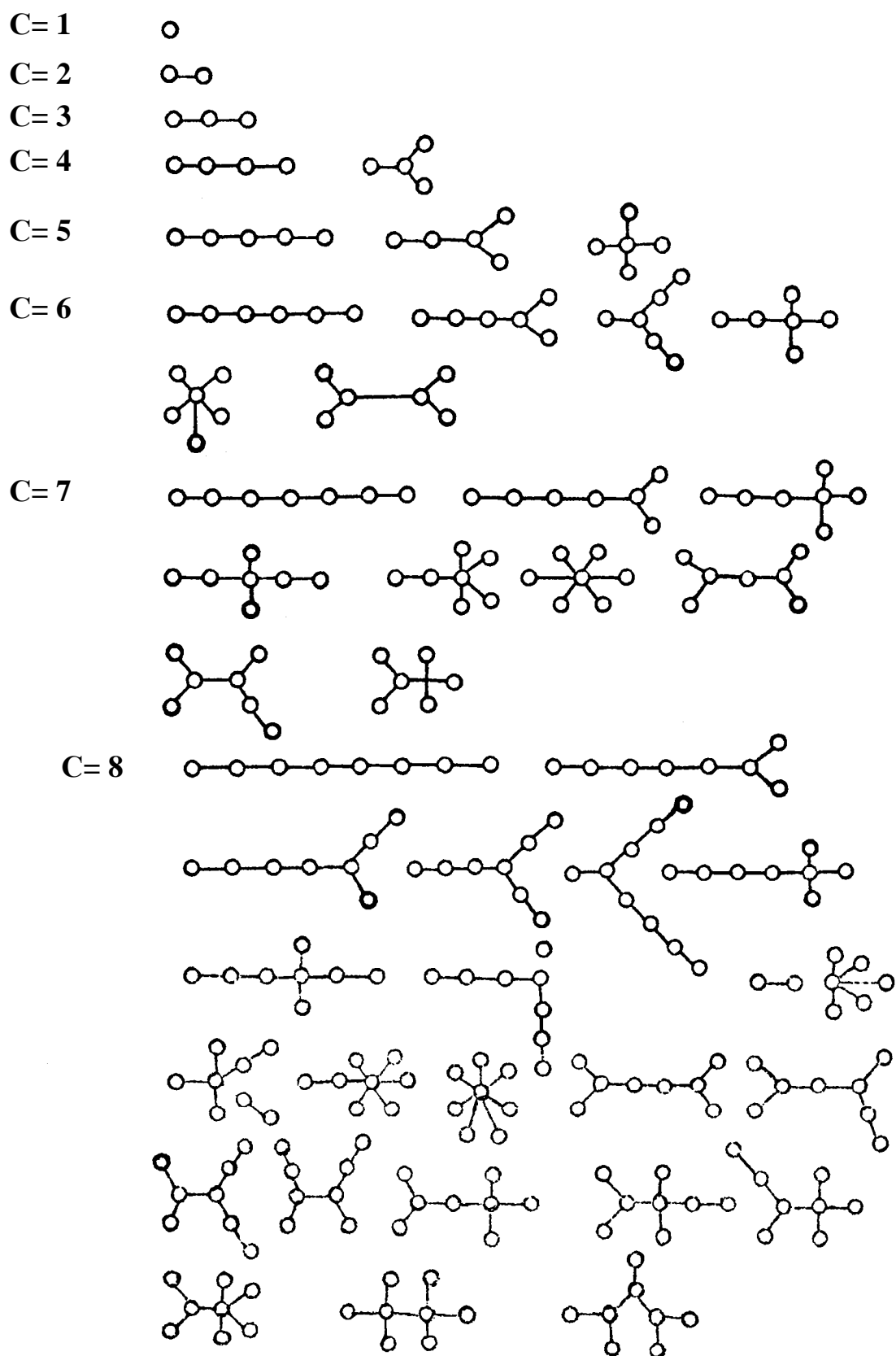


Рис.4.5. – Неповторяющиеся структурные разновидности вспомогательных материалов при $C \leq 8$

Имеется конечное множество поверхностно-активных веществ (a), неорганических веществ (H), комплексных добавок (M), то есть составляющих ингредиентов (a, H, M), которые равны, к примеру, $M=1,2,3,\dots,n$ и используемых для изготовления материала определенного технологического назначения и распределяемого между проектируемыми предметно-замкнутыми составами (рецептуры) [175] любой ингредиент ($i, j = 1,2,3,\dots,n$) является элементом множества (a, H, M) и может относиться к любому агрегату упорядоченного ряда. Искомый оптимально-упорядоченный ряд в форме рецептуры технологического материала состоит из конечного множества a ($a=1,2,3,\dots,n$) агрегатов составляющих ингредиентов, принадлежащая множеству a , то есть агрегату p ($p=1,2,3,\dots,n$), рассматривается как элемент множества и может состоять из любого числа составляющих ингредиентов. Отыскиваемый упорядоченный ряд (агрегат) оптимизируется по принятому конечному множеству H технологических признаков ($H=\{1, 2, 3, \dots, n\}$). Каждый признак K ($K=\{1,2,3, \dots, n\}$) является элементом множества H , может принадлежать или не принадлежать любому составляющему ингредиенту (рис.4.6).

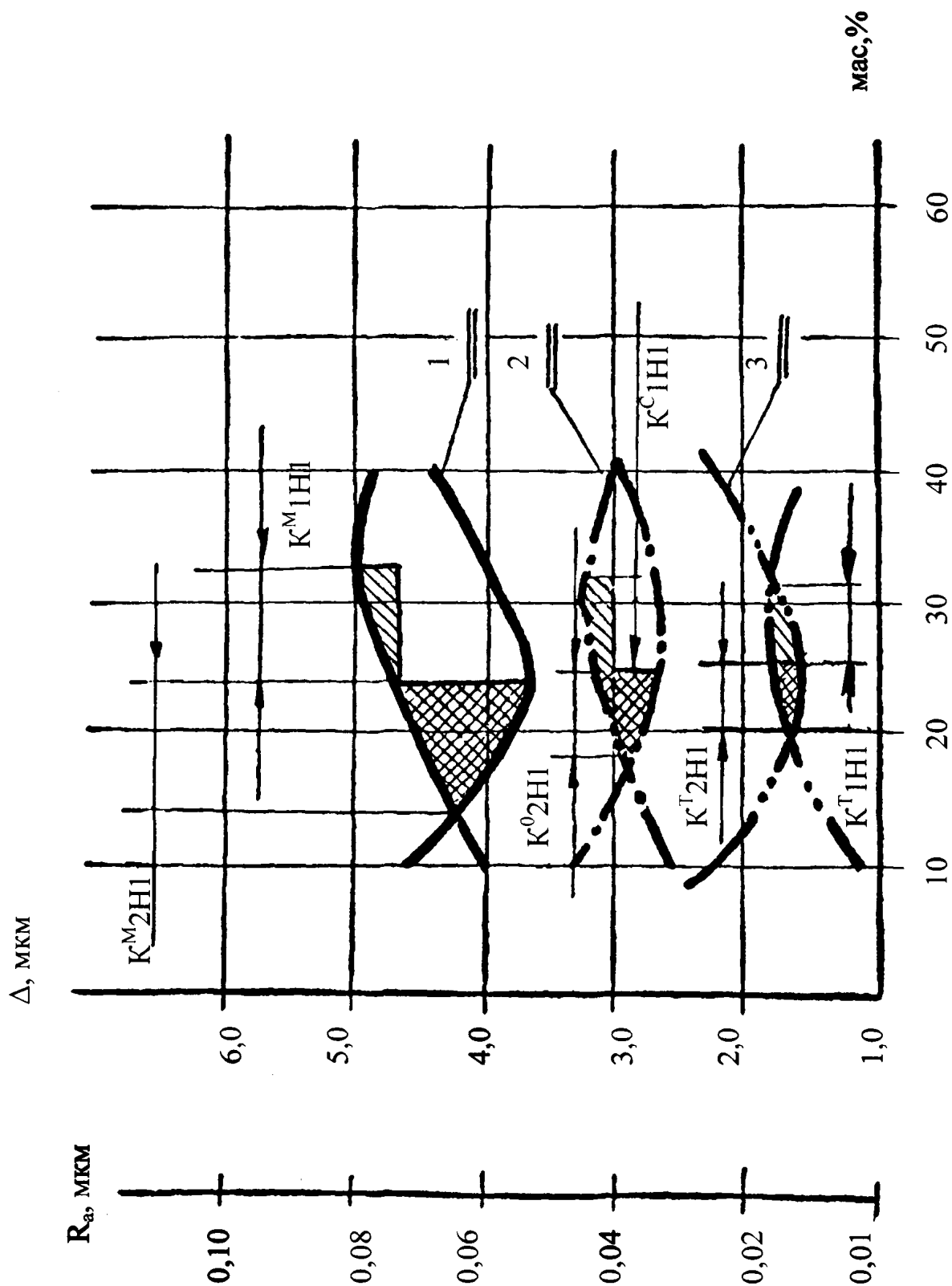


Рис.4.6 – Коэффициенты влияния олеиновой кислоты на качество состава абразивно-доводочной смеси при притирке пробки крана твердостью HRC10, HRC45 и HRC65 (построенный по экспериментальн

Для количественного отражения технологической однородности любых двух составляющих ингредиентов по коэффициентам их влияния, исходя из технических, санитарно-гигиенических и др. показателей (признакам) используется понятие «пересечения».

Величины пересечений между i -м и j -м составляющими ($i = j$) по одному K -му показателю определяется следующим образом: $L_{ij}^K = 1$, если K -й показатель принадлежит обоим составляющим; $L_{ij}^K = 0$, если K -й показатель принадлежит только одной или отсутствует в обеих составляющих.

Общая величина пересечений i -м и j -ми составляющими по всем техническим, экономическим, санитарно-гигиеническим и др. показателям ($X_{i,j}$) с учетом коэффициента влияния K_B :

$$X_{i,j} = \sum_{k=1}^n L_{i,j}^k k_e \quad (4.6)$$

Оценка отражает степень влияния каждого показателя на результат задачи формирования рецептуры механического материала на базе результатов ряда.

Всевозможные пересечения между парами составляющих образуют симметричную квадратную матрицу пересечений размерности $m \times m$.

Изложим порядок осуществления расчетов при определении величины пересечения между составляющими ингредиентами по показателям (признакам). Для этого используем численные значения коэффициентов влияния составляющих ингредиентов технологического материала. Пусть имеется семь ингредиентов, которые необходимо систематизировать по определенным показателям (признакам) в виде оптимально-упорядоченного ряда (табл. 4.1).

Ограничиваясь доверительными границами, в пределах ингредиент считается рациональным, сформулируем квадратную матрицу пересечений.

Представим, что для первого и пятого составляющих ингредиентов общими признаками является (табл.4.2): интенсивность (1) и степень улучшения качества (2) обработки, антикоррозийность (3) обработанной поверхности, состояние обработанной поверхности (10), внешний вид обработанной поверхности (11).

Таблица 4.1 – Состав показателей признаков

Шифр ингредиентов	Порядковый номер показателей (признаков) К _в													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	I	I	I							I	I			
2		I					I	I	I					
3				I	I	I						I	I	
4				I	I	I							I	
5	I	I	I							I	I			
6		I					I	I	I			I		
7		I		I			I	I	I			I		

Таблица 4.2 – Квадратная матрица

	j						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	0	0	5	1	1
2	1	0	0	0	1	4	4
3	0	0	0	4	0	1	2
4	0	0	4	0	0	0	1
5	5	1	0	0	0	1	1
6	1	4	1	0	1	0	5
7	1	4	2	1	1	5	0

Для упрощения при иллюстраций примера значения веса, соответствующее каждому из перечисленных показателей (признаков) примем равным единице $K_{\epsilon 1} = K_{\epsilon 2} = K_{\epsilon 3} = K_{\epsilon 10} = K_{\epsilon 11} = 1$. Тогда общая величина пересечений между первым и пятым составляющими ингредиентами по этим признакам будет равняться пяти:

$$X_{1,5} = A_{1,5}^1 \cdot K_{\epsilon 1} + A_{1,5}^2 \cdot K_{\epsilon 2} + A_{1,5}^3 \cdot K_{\epsilon 3} + A_{1,5}^{10} \cdot K_{\epsilon 10} + A_{1,5}^{11} \cdot K_{\epsilon 11} = \\ = 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 5$$

Это число разносится в два элемента матрицы пересечений ($X_{1,5} = X_{5,1} = 5$). Матрицы пересечений количественно отражает однородность составляющих по показателям.

Пересечение между составляющими внутри группы p по всем техническим показателям определяет по формуле:

$$X_p = \sum_{\substack{i,j,\epsilon p \\ i < j}} X_{i,j} \left(X_p \leq \sum_{i,j,\epsilon p} X_{ij} \right); X_p = 0, \text{ если } p = 0 \text{ или } p = \{i\} \quad (4.7)$$

Очевидно, кроме внутреннего пересечения между составляющими группы p со всеми остальными составляющими, не вошедшими в данную группу, по тем или иным показателям образуется «внешнее» пересечение. Если по отношению к данной группе p все не включенные в нее составляющие условно составляют группу $P=M/P$, то количество этих пересечений составляющими группы P и p составит:

$$\overline{X_p} = \sum_{\substack{i \in p \\ j \in p}} X_{ij} - \sum_{i,j,\epsilon p} X_{ij} \left(\overline{X_p} = 0, \text{ если } p = m \right) \quad (4.8)$$

Внутреннюю однородность составляющих технологического материала-ряда можно характеризовать показателем ω . Показатель

представляет собой средневзвешенное число отдельных составляющих с учетом коэффициентов их влияния и определяется по формуле:

$$\omega = \frac{\sum_{p=1}^n X_p}{\sum_{p=1}^n C_{P_p}^2} \left(C_{P_p}^2 = 1, \text{ если } P_p = 1 \right) \quad (4.9)$$

где P_p - число составляющих, входящих в группу P и образующих номенклатурный состав рецептуры технологического материала;

$C_{P_p}^2$ - число сочетаний по два из p_p составляющих, эта величина является весом группы, определяется коэффициентами влияния составляющих.

Следовательно, внешнюю однородность составляющих групп ряда можно характеризовать показателем X . Показатель X представляет собой средневзвешенное число показателей (с учетом их коэффициентов влияния) общий у любых двух составляющих ингредиентов из разных групп ряда и определяются по формуле:

$$X = \frac{\sum_{p=1}^n X_{\bar{p}}}{\sum_{p=1}^n \overline{p_p} \overline{p_p}} \left(\overline{p_p} = 1, \text{ если } P_p = m \right) \quad (4.10)$$

где $\overline{p_p}$ - число составляющих ингредиентов, входящих в группу \bar{p} ; весом группы является величина (коэффициентов) влияния составляющего ингредиента.

Естественно, что внутреннюю и внешнюю однородность составляющих ингредиентов групп ряда нельзя рассматривать изолированно друг от друга, так как будет отсутствовать комплексная оценка качества проектируемого технологического материала.

Любой вариант упорядоченного ряда рецептура R технологического материала, построенной с учетом коэффициентов влияния составляющих ингредиентов, одновременно характеризуется как внутренней, так и внешней однородностью составляющих его групп.

Уровень результативной однородности R - его варианта упорядоченного ряда; предопределяющий качество технологического материала, исходя из технических, экономических, санитарно-гигиенических и др. показателей, зависит от двух групп показателей $\omega(R)$ и $X(R)$, равнонаправленные действующих на эту результативную однородность.

Очевидно, что оптимальным представляется тот вариант упорядоченного ряда из всех возможных, который обеспечит максимальную разность между $\omega(R)$ и $X(R)$, следовательно, целевой функцией поставленной экспериментальной задачи по отысканию упорядоченного ряда – рецептуры технологического материала R_m является

$$\overline{f}(R_m) = \max[\omega(R) - X(R)] \quad (4.11)$$

Таким образом, любому варианту рецептуры вспомогательного материала технологического назначения, состоящего из групп составляющих с максимальным уровнем предметной замкнутости, всегда соответствует определенный вариант упорядоченный ряд составляющих ингредиентов. При этом целевая функция \overline{f} , построенная упорядоченного ряда составляющих ингредиентов является показателем, характеризующим глубину технологической специализации предметно-замкнутых составов, образующих рецептуру вспомогательного материала (рис.4.6). Чем больше значений целевой функции упорядоченного ряда составляющих ингредиентов, тем больше глубина технологической специализации рецептуры вспомогательного материала любого технологического назначения, в частности, формовочных смесей, смазочно-охлаждающих

жидкостей (СОЖ), технологических моющее-очищающих композиций (ТМОК), абразивно-доводочных (АДС) смесей.

В процессе создания (проектировании и изготовлении) вспомогательного материала, закладываемого в технологию производства и ремонта трубной арматуры трубопроводных систем, при комплексной оценке необходимо обеспечить надежность и долговечность эксплуатации высокоточных изделий.

4.5. Практическая реализация теоретических разработок при создании технических моющих средств

Интегральная оценка качества вспомогательного материала, используемого в технологических целях – это поиск лучшего его варианта по составу, учитывая, прежде всего, надежность конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем. Если не останавливаться на вопросах терминологии вспомогательных материалов, рассмотреть сущность самого явления – создание новых и совершенствование качества известных составов вспомогательных материалов на основе каким-либо образом упорядоченных составных частей, то в этих процессах проектирования можно увидеть и много общего и определенные отличия [41, 164].

В некоторых случаях существует такое мнение, что создание вспомогательных материалов технологического назначения затруднено или просто невозможно из-за большого разнообразия вспомогательных материалов, используемых в различных технологических процессах всех отраслей ремонтно-эксплуатационного и машиностроительного производств. Усугубляется успешное решение этого вопроса и тем, что по-разному трактуются цели агрегатного проектирования, и существует различный подход к признакам агрегата вспомогательного материала [64].

В классическом понимании проблемы коррозионной стойкости стальных деталей, которые подвергаются воздействию влаги и агрессивных

сред необходимы те вспомогательные материалы в составе которых будут ингибиторы коррозии, например, ортофосфорная кислота. Простое смешивание поверхностно-активных веществ со смягчителями воды и с другими ингредиентами при создании моющее-очищающих композиций неэффективно и сдерживается научно-технический прогресс в области повышения качества вспомогательных материалов. Исходя из чего, в методическом плане был применен метод агрегатирования, сущность которого заключалась в том, что путем смачивания карбоксиметаллцеллюлозы ортофосфорной кислотой получали агрегат, вводимый определенной последовательностью в композицию «ТМОК-П». Получение агрегатов, осуществляемое в виде автономного процесса, предусматривает определенный, постоянный регламент налаживания «консервируемости» ингредиентов в смеси (рис. 4.7).



Рис.4.7. – Общая схема работ при автоматизированном проектировании рецептуры (состава) вспомогательных материалов

Такая задача ранее не ставилась при «сухом» способе механического перемешивания, получаемого вспомогательного материала (Винницком, Шебекинском, Дальневосточном химзаводах, ЗАО «Экохиммаш» Костромской области). Переход некоторых предприятий на высокоэнергозатратный «мокрый» способ производства моющих средств (ОАО «Первомайский химзавод» Харьковская область), решая одну проблему, усложнил технологию получения «законсервированности» элементов в композициях из-за несовместимости химических ингредиентов.

Это привело к нерациональному использованию энергозатрат, к неуправляемости процесса повышения качества технических моющих средств, электролитов, формовочных и сварочных смесей, грунтов, смазочно-охлаждающих средств, а главное – недопонимание фактора технологической наследственности в повышении надежности выпускаемой и ремонтируемой техники, не говоря об охране природы. Процесс агрегатирования не должен соотноситься с проектированием рецептуры вспомогательного материала или с компоновкой самого агрегата. Исследования показывают, что путем комплектования удастся расширить область рационального использования того или иного материала. Главная причина таится в недостаточности научно-теоретических разработок, в субъективизме разработчиков, что породило и порождает номенклатуру вспомогательных материалов, порой по своим выходным показателям мало чем отличающихся, но изготовленных из малоэффективных дорогостоящих ингредиентов [158] (рис.4.8).

Класс — технологическая принадлежность

0 — Поверхности литых, сварных, паяльных и других изделий	1 — Поверхности изделий, обрабатываемых давлением	2 — Поверхности изделий, обрабатываемых резанием	3 — Поверхности изделий, находящихся в эксплуатации	4 — Резерв	5 — Поверхности изделий, подлежащих покрытию защитным слоем	6 — Резерв	7 — Поверхности изделий, ремонтируемого механического оборудования	8 — Поверхности изделий, ремонтируемого электротехнического оборудования	9 — Резерв
20 — Чугунных	21 — Из сталей обычного качества	22 — Из высококачественных сталей	23 — Из инструментальных сталей	24 — Из легированных сталей	25 — Резерв	26 — Из меди и ее сплавов	27 — Из алюминия и его сплавов	28 — Неметаллов	29 — Резерв
220 — Отложения сыпучих материалов без связывающего состава	221 — Отложения материалов с масляно-жировыми добавками	222 — Смолистые отложения	223 — Солевые отложения	4 — Отложения нефтепродуктов	225 — Нагары, накипь и другие сложные загрязнения	226 — Отложения ядохимикатов и других вредных веществ	227 — Биологические образования	228 — Отложения лаков и красок	229 — Резерв

Подгруппы — принцип воздействия рабочей среды ТМС в процессе моечно-очистной обработки

2200 — Вневанная обработка рабочей средой методом обтирки	2201 — Вневанная обработка рабочей средой методом ополаскивания	2202 — Окунанием в ваннах без интенсификации процесса обработки	2203 — Окунанием в ваннах с отмочкой без интенсификации	2204 — Окунанием с высокотемпературной обработкой без интенсификации процесса	2205 — Резерв	2206 — Окунанием в ваннах с интенсификацией процесса, затопленной струей	2207 — Окунанием в ваннах с накладыванием вибрации, ультразвуковых и других колебаний	2208 — Струйная обработка	2209 — Резерв
22000 — Спиртование	22001 — Нефтепродукты	22002 — Кислоты и их смеси	22003 — Водные средства на основе поверхностно-активных веществ	22004 — Резерв	22005 — Смешанные	22006 — Солевые	22007 — Неорганические растворители	22008 — Резерв	22009 — Резерв
220030 — Простая смесь анионогенных, неионогенных, катионных или атмосферных ПАВ с мягчителями воды	220031 — Сложная смесь анионогенных, неионогенных, ПАВ с мягчителями воды	220032 — Резерв	220033 — Смесь ПАВ, органических и неорганических жидкостей, солей	220034 — Смесь неионогенных ПАВ, мягчителей воды и комплексных добавок целевого назначения	220035 — Смесь неионогенных анионогенных ПАВ, мягчителей воды и комплексных добавок целевого назначения	220031 — Резерв	220032 — Смесь различных ПАВ, мягчителей воды и органических растворителей, нефтепродуктов	220033 — Смесь различных ПАВ, мягчителей воды, комплексных и кислотосодержащих добавок	22004 — Резерв

Рис.4.8 — Классификатор моюще-очищающих средств

Агрегатный метод проектирования (АМП) - это компоновка рецептуры вспомогательного материала из отдельных агрегатов, которые могут объединяться в отдельные части, регламентированные рецептурой [159]. Агрегатирование (АГП) - это целенаправленное образование агрегатов в виде отдельной обособленной группы ингредиентов. Основной задачей, которая решается агрегатированием - это придание будущему материалу максимальной потенциальной энергии, удлинение его сроков хранения и снижение опасности вспомогательного материала на окружающую среду.

К ингредиенту (веществу) как основному элементу агрегатирования, так и к самому агрегату должны предъявляться следующие основные требования:

- выполнение определенной функции (функций);
- размерная упорядоченность;
- физическая, химическая, комплексообразующая совместимость;
- возможность использования в различных составах (рецептурах) вспомогательных материалов, не теряющая функционального назначения, технологических возможностей и обладающая соответствующими выходными техническими, экономическими, санитарно-экологическими и др. показателями;
- определенная универсальность функций и высокий уровень качества, направленного на повышение надежности и долговечности изделий.

Создавая рецептуру вспомогательного материала методом агрегатирования, все вопросы проектирования основываются на следующих принципах:

- составные части готового препарата имеют присоединительные численные значения (коэффициенты влияния, условные единицы и т.д.) по установленному ряду размеров, а этот ряд построен на каких-то определенных закономерностях;
- составные части вспомогательного материала имеют универсальное применение, то есть могут использоваться со своей функцией в разнообразных вспомогательных материалах или любых типах, например, ТМС, СОЖ, АДС;
- изменение состава таких унифицированных групп-агрегатов и их связей качественно или количественно изменяют основные целевые свойства (работоспособность) готовых вспомогательных материалов.

Создание ряда рецептур (марок) вспомогательных материалов на основе перечисленных принципов и будет означать использование метода агрегатирования. В основе рационального решения проблемы качества вспомогательных материалов разработан [152, 182] упрощенный классификатор ТМС, построенный на следующих основных принципах: 1 - технологическая принадлежность ТМС, 2 - материал изделия, подлежащий моечно-очистной обработке, 3 - природа загрязнения изделия и 4 - принцип воздействия рабочей среды (ТМС) в процессе моечно-очистной обработки (см. рис. 4.8). Дальнейшая детализация классификационных признаков будет носить вспомогательный характер, в частности, уточнять состав ТМС, наличие рода растворителей, интенсификаторов и т.д.

С учетом наметившихся тенденций и перспектив развития вспомогательных материалов металлообрабатывающего и ремонтного производств использование классификатора, позволяет планомерно и целенаправленно разрабатывать группы-агрегаты химических веществ, объединенных химической, физической и комплексобразующей совместимостями.

Агрегатирование, как метод синтеза необходимых вспомогательных материалов для металлообработки из серийно выпускаемых химических и др. ингредиентов, в настоящее время четко выделяющийся при создании многих ТМС, АДС, успешно может быть перенесен на случаи проектирования других вспомогательных материалов. Имея определенные агрегаты, зная их выходные показатели и используя теорию чувствительности, можно спроектировать любой состав вспомогательного материала в соответствии с требованиями надежности и долговечности разнообразной техники. Таким образом, технология даст наиболее рациональные способы приготовления вспомогательных материалов, не "вмешиваясь" в вопросы их разнообразия. Экономика следит за экономным расходованием сырьевых ресурсов, определяет целесообразность и "толкает" на создание новых и совершенствование качества известных ТМС, СОЖ (рис.4.9).

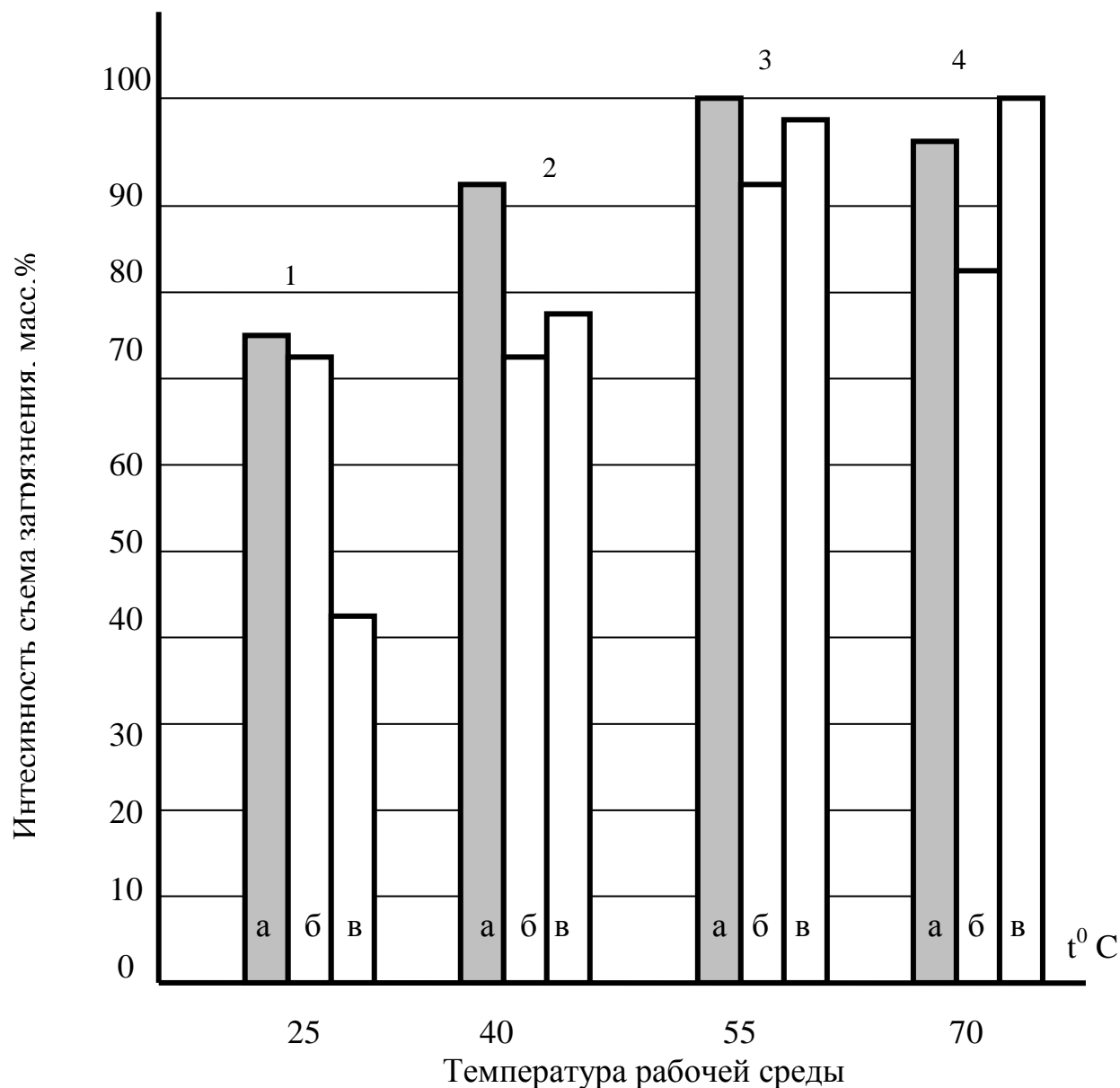


Рис.4.9 – Зависимость интенсивности смыва абразивно-доводочной смеси от температуры 5% рабочей среды на основе технических моющих композиций:

а – ТМОК-6П, б – Нордаль (Италия), в – лабомид-203 (Украина)

Таким образом, теоретическими исследованиями удалось доказать, что агрегатированием несовместимых химических ингредиентов можно существенно влиять на качество вспомогательных материалов во времени, снижая их экологическую безопасность. Весьма существенно можно влиять, например, на надежность и долговечность эксплуатации трубной арматуры путем правильного выбора ингредиентов при проектировании абразивно-доводочных смесей, моющих составов и других материалов технологического назначения.

РАЗДЕЛ 5

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ НА ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА

5.1. Системный анализ обеспечения надежности конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем

Производственные и технологические процессы, объединяющие в единый организационно-технический комплекс, представляют собой сложные динамические системы, к которым относится газовое оборудование и транспортные трубопроводные системы

Характерной особенностью большинства этих систем является ярко выраженный вероятностный и неопределенный характер функционирования, обусловленный случайными свойствами вспомогательных материалов и характером воздействия внешней среды на технологические и производственные процессы, непостоянством во времени и пространстве и большой изменчивостью различных факторов, способами прокладки и различием случайно варьирующих метеоклиматических и организационно-хозяйственных условий регионов и даже конкретных производств [10, 181].

При изучении схем производственного процесса ремонта газового оборудования и трубопроводных систем целесообразно рассматривать их не по операциям, а по отдельным частям технологии ремонта конструкционных элементов транспортных трубопроводных систем. В основе надежной работы прецизионных пар запорной арматуры трубопроводных транспортных систем лежит правильный выбор основного и вспомогательного материала, компоновка узлов и технология их производства. Выдерживание размеров, исчисляемых в микронах, создание, в поверхностных слоях износостойкости, напряжений нужной величины и знака – преодоление собой задач, решение

которых связана с преодолением существующих технико-экономических трудностей, усилением лженаучных рекомендаций торгующих фирм.

Техническая оснащенность ремонтно-эксплуатационного конкретного производства, степень совершенства механизированных технологий и их практическую реализацию, а также группу организационно-экономических факторов, учитывающих концентрацию и специализацию производства, структуру и состав газового парка хозяйств (рис. 5.1), оказывают существенно влияние на эксплуатационную надежность изделий.

Проблема повышения эксплуатационной надежности газотранспортных комплексов и систем состоит в системной оптимизации их параметров и свойств, разработке более эффективных технологических процессов и создание новых с более высокими технико-эксплуатационными качествами транспортных систем и комплексов. Взаимодействие элементов производственно-технологической базы с системой ППОР оценивается показателями надежности и экономической эффективности.

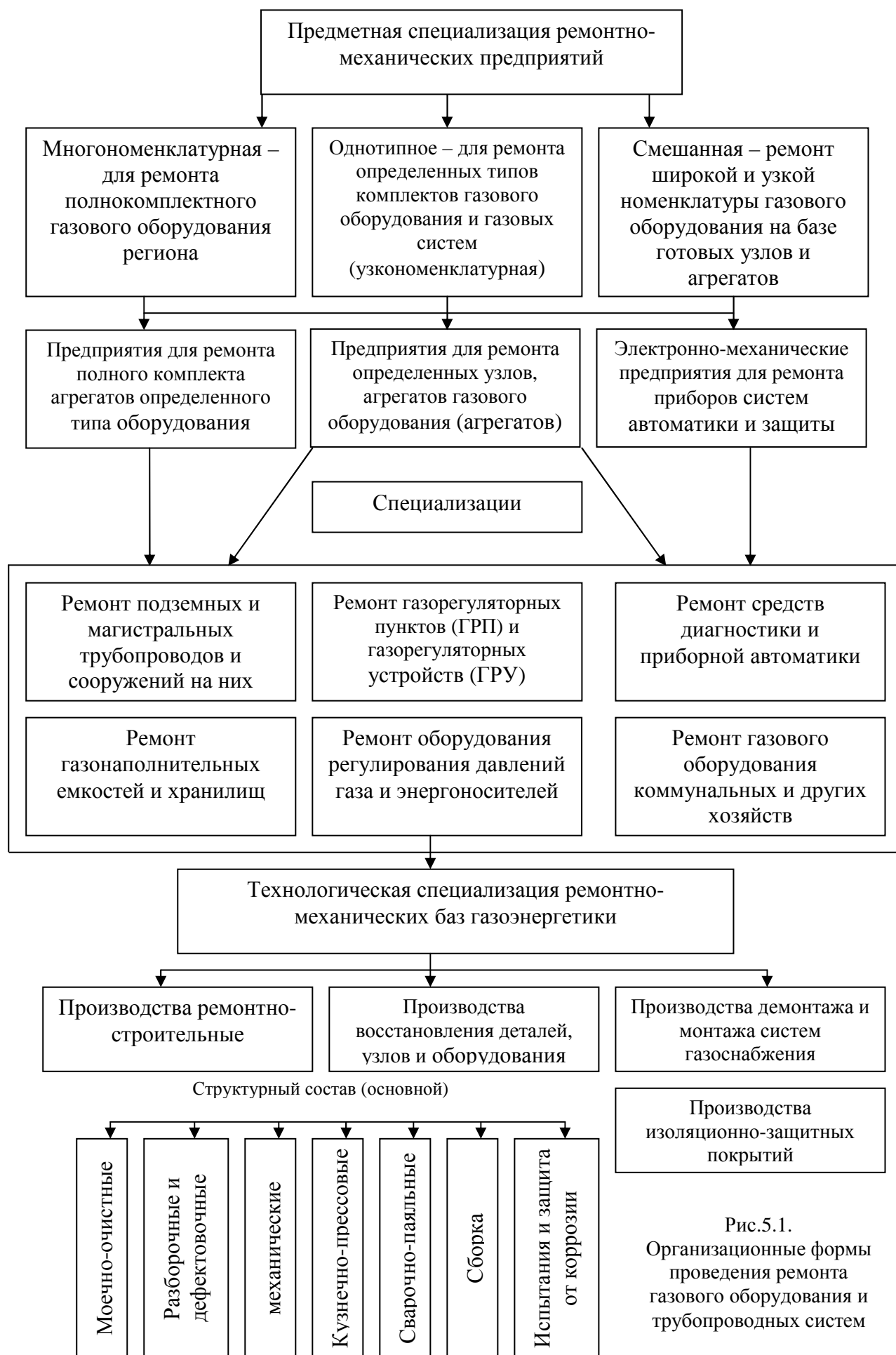


Рис.5.1.
Организационные формы
проведения ремонта
газового оборудования и
трубопроводных систем

Для разработки путей и конкретных методов повышения эксплуатационно-технологической эффективности сложных систем уже недостаточно дифференцированного их рассмотрения и детерминированного подхода. Необходимо изучение их взаимодействия с непрерывно изменяющейся средой и обрабатываемыми материалами, а также функционирования их в составе комплексов и систем. Отдельные случаи требуют также более глубокого рассмотрения и основные физические явления технологической наследственности, которые определяют закономерности особенности формирования эксплуатационно-технологических показателей эффективности. На практике хорошо известны недостатки каналов прохождения информации делают полезным применить еще одну модель информационной системы с тщательным учетом отношений связи (рис.5.2), где показаны параметры - сфера удовлетворения потребностей [183].

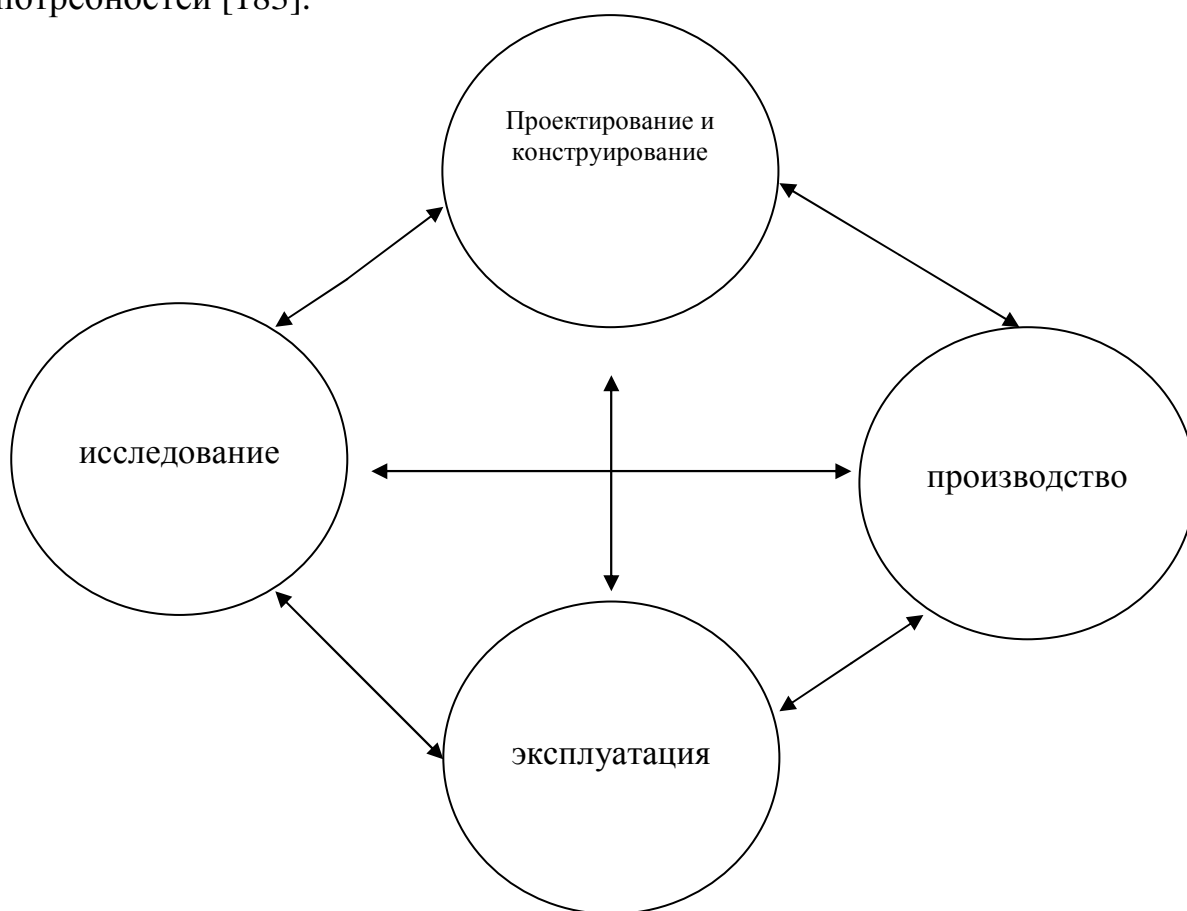


Рис.5.2 – Модель отношений связи в комплексной системе

Формализация широкого класса таких задач в терминах «технические параметры», «эксплуатационно-технологическая эффективность», «стоимостная эффективность» и других, характерных для системного анализа, позволит уже на ранних стадиях проектно-поисковых работ определить надёжные критерии эффективности, оценивать, оптимизировать и прогнозировать базовые параметры трубопроводных систем и их агрегатов, а также структуру и состав комплексов средств транспорта энергоносителя и технологических процессов производства и ремонта. В практике работы ремонтно-эксплуатационных баз в зависимости от конструкции и степени износа или повреждения детали затраты на ее восстановление не превышают 5...40% стоимости новой детали, и чем сложнее и дороже деталь, тем выше стоимость ее восстановления, так как требует больших материальных и физических затрат на технологическую подготовку (рис. 5.3).

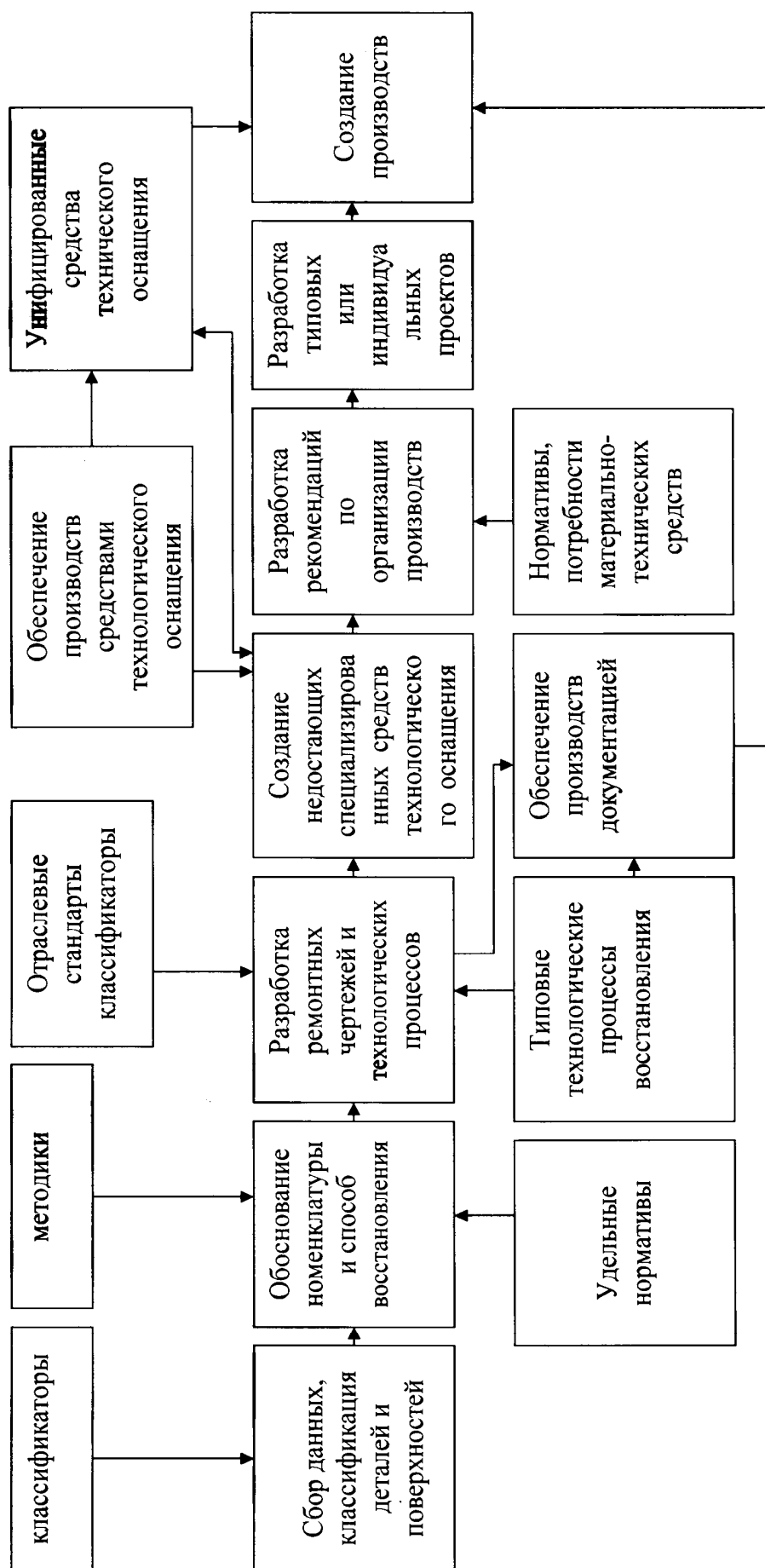


Рис.5.3. Общая схема и последовательность технологической подготовки производства восстановления конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем

Для восстановления полной работоспособности изношенных деталей и сопряжений необходимо вернуть им первоначальное состояние, размеры, форму. Это достигается применением в ремонтно-эксплуатационной практике методов и способов технического обслуживания и ремонта, направленных на восстановление первоначальных свойств транспортных трубопроводных систем и их конструктивных элементов.

Исследования показывают [1, 4], что рынок газового теплового и энергетического оборудования за последние годы характеризуется стремительным ростом количества моделей при уменьшении объемов их производства. Прослеживается тенденция к повышению доли мелких серий. Последствием такой технической политики является увеличение цены газового оборудования и элементов транспортных средств, особенно заметное с повышением их мощности, отсутствием на рынке огромной номенклатуры запасных частей, увеличением срок использования, ростом стоимости ТО.

Высокая конкуренция на рынке техники обязывает производителей нести ответственность за качество выпускаемой и отремонтированной техники, которое может быть достигнуто в пределах заявленной цены на продукцию. Этот принцип четко отражает позицию зарубежных фирм: за высокую надежность надо платить. Связь стоимости и цены с уровнем надежности несомненна, хотя высокая цена не гарантирует высокую надежность.

Таким образом, надежность транспортной трубопроводной системы, оборудования, агрегата, как показывает отечественный и зарубежный анализ, во многом зависит от ее экономического аспекта. Состояние трубопровода и его конструктивных элементов не остаются раз и навсегда, такими как они сооружены при монтаже. Поэтому при конструировании возникает проблема распределения затрат между производством и эксплуатацией созданной транспортной системы.

Современное промышленное производства энергетики располагает весьма эффективными средствами обеспечения высокой надежности, но их применение ограничено ценой изделия. При создании новой модели оборудования, системы или решении проблемы повышения надежности серийно выпускаемого транспортного оборудования, распределение затрат требует новых подходов при анализе, обосновании критериев оценки. Для выполнения такой работы необходимо вооружить специалиста методологией принятия решений по техническим, экономическим и экологическим проблемам ремонтно-эксплуатационного производства газотранспортных подразделений (фирм, предприятий, обществ и т.д.), а также методологией распределения надежности между деталями, агрегатами, системами; прогнозировать затраты и соответствующие им надежность на стадии производства и эксплуатации.

Представление о надежности транспортных трубопроводных систем, их конструктивных элементов дает совокупность сведений о сроках их службы, наработки, интенсивности эксплуатации, расходах на ремонт и последующем снижении стоимости транспортируемого энергоносителя.

5.2. Принципы обеспечения надежности в ходе производства ремонта конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем

Операции технологического процесса могут ликвидировать некоторые свойства объектов и создать новые. Разработка требуемой совокупности методов и моделей оценки надежности трубной арматуры на различных уровнях управления энергетическими транспортными системами – задача сложная и трудоемкая. Решение сложных вопросов обеспечения надежности средств энерготранспорта и его конструктивных элементов во многом зависит от того, как учитываются требования к соблюдению важнейшего принципа комплексного и системного подхода [183], для успешного решения необходимы

определенные методологические подходы: принцип единства; принцип целостности; принцип надежности; принцип эффективности. Это обусловлено тем, что любой объект производства находится в многообразных связях и взаимодействиях с окружающими его явлениями, участвует одновременно в нескольких формах движения. Необходимым элементом правильного понимания событий должно служить признание универсальной взаимозависимости и неразрывной связи различных явлений. Закон перехода количественных изменений в качественные устанавливает, что развитие явлений не есть простой процесс роста, чисто количественное изменение их, а обязательный переход явлений из одного качественного состояния в другое в результате накопления количественных изменений. Поэтому необходимо признать, что всякое явление представляет собой концентрат условий, в которых оно протекало. Рассмотрение явления в развитии связано с термином «наследственность».

Итальянский математик Вольтерра создал теорию наследственной упругости, которая впоследствии получила дальнейшее развитие в трудах [45, 99], использующих гипотезу пластической наследственности. Эта гипотеза является обобщением теории, описывающей зависимости деформации в данный момент времени от предыдущего деформирования материала [157].

Технологический процесс в механосборочном производстве нельзя представить без действия сил. По аналогии с предыдущими научными данными, применительно к механической обработке и сборке, можно утверждать, что состояние, качество детали в данный момент определяется не только последней, финишной абразивно-доводочной операцией, но и особенностями всех предшествующих операций, начиная с получения заготовки. Исходя из чего, можно утверждать, что наиболее целесообразное построение комплексного анализа должно быть направлено от конечной к начальной стадии производства, то есть от требований, вытекающих из технологии общей сборки к требованиям, предъявляемым процессам выполнения заготовок для деталей машин. Иными словами, должен быть рас-

смотрен весь технологический процесс создания деталей. Эту же идею высказывает П. И. Ящерицын [105], который отмечает, что все выполняемые операции нужно рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, ибо конечные характеристики обработанных поверхностей формируются под действием всего комплекса выполняемых операций [2].

Технологическая наследственность предусматривает взаимосвязь отдельных элементов системы. Под системой можно понимать как технологический процесс, так и сам объект обработки. В последнем случае систему могут составлять компоненты вспомогательного материала, определенным образом расположенные на поверхности и в глубинных слоях, геометрические параметры поверхностей, их размеры и т. д. Во всех случаях система представляет собой замкнутое целое. Для описания поведения системы возможно использовать принципы кибернетики, которая является главным инструментом исследования систем [10, 96]. Система, рассматриваемая с позиций технологической наследственности, представляет собой не разрозненное скопление отдельных элементов, а является прочно связанной информационной сетью. Исходя из чего, не имеет смысла рассматривать отдельно взятые, обособленные состояния обрабатываемого объекта, так как подход не позволяет установить связи внутри системы. Явление технологической наследственности является в своей сущности весьма сложным процессом, особенно высокоточных прецизионных пар трубной арматуры, обосновывая данный факт, можно утверждать, что система состоит из « n »-элементов.

Если не использовать системного подхода к оценке явления, то необходимо выполнить n отдельных исследований. Если же описывается система в целом, то необходимо исследовать не только n элементов, но также и $n(n - 1)$ связей между ними [19]. Пусть рассматриваемая система имеет только 7 элементов. Внутри такой системы существует 42 связи. Если определить состояние системы цепью, в которой каждая из этих связей реализована или отсутствует, то число различных состояний, в которых может находиться система, составляет фантастически большое число, равное 2^{42} . Отметим также,

что рассматриваемые системы находятся в динамическом режиме, то есть функционируют и переходят из одного состояния в другое за определенное время. Это обстоятельство делает решение задач по выявлению наследственных связей еще более сложным. Такие системы очень разнообразны, а следовательно, характеризуются большой неопределенностью. Однако наличие наследственной информации, являющееся важнейшей особенностью таких систем, уменьшает разнообразие, упрощает систему. Более того, становится возможным прогнозировать поведение системы.

Носителями наследственной информации является собственно материал высокоточной детали, а также ее поверхности с многообразием параметров, описывающих состояние этих поверхностей. Носители информации активно участвуют в технологическом процессе, проходя, по выражению П.И. Ящерицына, через различные «барьеры», либо задерживаясь на них частично или полностью [105]. Самым существенным «барьером» являются термические операции и грубая обработка. Отклонения фактической формы заготовок от идеальных, геометрически правильных поверхностей вполне определенным образом передаются от одной операции к другой, то есть это явление может копирование. В ходе процесса различные поверхностей деталей, в частности микротрещины, могут развиваться или «залечиваться» и т.д. Во всех этих и аналогичных случаях возникновение, изменение, ликвидация параметров высокоточной детали трубной арматуры характеризуются наследственной информацией.

Наследование свойств в ходе технологического процесса характерно как для детерминированных, так и для вероятностных систем. В первом случае не возникает никакой неопределенности в передаче свойств. Если известны предыдущее состояние системы и способ переработки информации, то можно предсказать ее последующее состояние обрабатываемой поверхности технологического наследования конструктивных форм заготовок. Для вероятностной системы нельзя сделать точного, детального предсказания. Можно лишь с большой степенью вероятности определить, каковы будут

наследственные свойства системы. Однако признание того, что данная система является детерминированной или вероятностной, не может оказать решающего влияния на понимание сущности технологической наследственности. Рассматриваемое явление непременно связано с состоянием системы и ее изменениями во времени, что процессом технологического наследования можно управлять, с тем чтобы свойства, положительно влияющие на надежность детали, сохранять в течение всего технологического процесса, а свойства, влияющие отрицательно, — ликвидировать в его начале. Естественно, в общем виде нельзя однозначно ответить на вопрос о том, служит ли технологическая наследственность положительным или отрицательным явлением. На такой вопрос можно дать четкий ответ лишь применительно к конкретному технологическому процессу, изделию по обеспечению надежности их работы.

При формировании свойств надежности трубной арматуры транспортных энергетических систем необходимо уточнить следующее явление переноса свойств объектов от предшествующих операции к последующим будем называть технологическим наследованием, а сохранение этих свойств - технологической наследственностью. Перед теорией стоит весьма трудная задача детального и комплексного анализа условий производства и ремонта прецизионных пар трубной арматуры количественной стороны технологического наследования. В практическом плане следует доказать, что свойства надежности прецизионных пар трубной арматуры будет снижаться, если не управлять целенаправленно методами и способами окончательной обработки при их производстве и ремонте [9, 37].

Прогнозирование развития объектов техники осуществляется путем предвидения изменения их количественных параметров. Это возможно сделать, опираясь на анализ физических закономерностей, которые лежат в основе создания модели, описывающей динамику изменения конкретного параметра. Для получения более надежного прогноза о влиянии технологического процесса на эксплуатационные параметры высокоточных деталей и узлов

представляется целесообразным разделить процесс с помощью предварительного логического анализа на ряд характерных этапов. Каждый из этапов должен быть описан своей моделью. Укрупненными этапами технологического процесса можно считать черновые, термические и отделочные операции. Отделочные операции, проводимые на термически обработанных высокоточных валах (в частности, азотированных), с точки зрения их поводки в эксплуатации описываются моделью Фойгта. Для такой модели имеется математическое описание явлений, и, если известны исходные данные, можно абразивно-доводочную обработку прецизионной пары представить в функции времени. Аналогично, изменение напряжений во времени также описывается математически. Моделью явления технологической наследственности в общем виде является расчетом, а изменение свойств может быть представлено системой уравнений.

Количественное описание закономерностей формирования свойств надежности может быть представлено следующей моделью:

$$\frac{dy}{d\tau} = \pm a(K - y), \quad (5.1)$$

где y — численная величина некоторого параметра; K - предельное значение y ; a - коэффициент пропорциональности.

Знак плюс берется, когда $y(\tau)$ неубывающая функция, и знак минус, когда $y(\tau)$ невозрастающая функция. Решениями представленного уравнения будут в этих двух случаях

$$y(\tau) = K + Ce^{-a\tau}; \quad y = (\tau) = K - C^{-a\tau}. \quad (5.2)$$

Этими уравнениями описывается изменение многих параметров высокоточных частей трубной арматуры в процессе эксплуатации.

5.3. Формирование свойств надежности высокоточных конструкционных элементов арматуры

Основными фактами технологической наследственности является установление факта переноса определенного свойства от предшествующей операции к последующим, а также сторона, влияющая на факт и характеристику надежности изделия.

При установлении прогнозов влияния технологии изготовления изделий на их выходные параметры требуется учитывать следующее важное обстоятельство: улучшение выходных параметров не может происходить беспредельно. Это можно, видеть на примере ужесточения точностных показателей трубной арматуры. По мере приближения к пределу становится все труднее достигать даже незначительного улучшения параметров; возникает необходимость в использовании новой научно-технической идеи, основанной на принципиально новых технологических решениях. Совершенствование технологических процессов позволяет повысить точность прогноза, который практически ощутим при проведении, так называемых, обкаточных испытаниях. В этом плане особый интерес представляет модель безотказности новой и отремонтированной машины в период приработки, предложенной А.С. Полянским [127] (рис.5.4).

Как указывает автор [138] в начальный период машина или конструктивный агрегат имеет вероятность безотказной работоспособности, равную единице ($R = 1$). Затем в течение определенного времени t_3 она проходит заводскую обкатку. Проявляются дефекты изготовления или ремонта и сборки, которые могут привести к появлению отказов эксплуатации изделия потребителя с интенсивностью λ_3 .

В настоящее время можно считать установленной зависимость износостойкости и долговечности эксплуатации от качества ремонта. Отремонтированный любой конструктивный элемент транспортной трубопроводной энергосистемы по качеству не должен уступать тому,

которое было достигнуто при его изготовлении, то есть от нового: по качеству сборочных единиц (геометрические размеры, допуски на изготовление и ремонт, шероховатость, макрогеометрия, твердость и т.д.), по качеству сборки (зазоры и натяги, деформации, уплотнения и т.д.); по качеству регулировки систем и узловой технической культуре сборки. Однако, нередко при изготовлении и ремонте трубной арматуры не выдерживаются технические условия, недостаточно организованный контроль за выполненными высокоточными работами и другие факторы снижают показатели исходной надёжности. С другой стороны, резкое улучшение качества отдельных технологических операций не даст должного эффекта, если уровень остальных операций не будет соответственно поднят. Исходя из чего высокие темпы развития высокоточной трубной арматуры вызывают необходимость применения методов ускоренных испытаний узлов для получения информации, связанной с проектированием технологических процессов. За весьма короткое время представилось возможным установить влияния методов финишной обработки запорной части арматуры на их долговечность (герметичность), объяснить разницу в величинах износов после обработки прецизионных пар различными методами и материалами. Рассмотрим технико-экономическую эффективность ускоренных испытаний на изнашивание высокоточных запорных узлов арматуры на стенде, созданного на ОАО «ХТЗ».

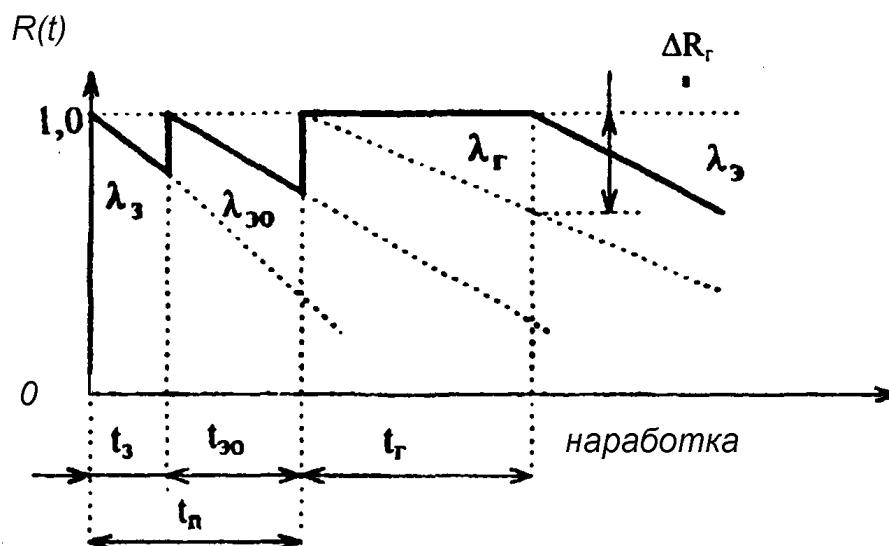


Рис.5.4 – Модель безотказности новой и отремонтированной техники в период производственных испытаний:

$t_{з0}$ – эксплуатационные испытания; t_n – период передаточных испытаний (приработка); t_r – период гарантийной эксплуатации (гарантийная надежность эксплуатации)

Экспериментальный узел испытан при работе с различной частотой циклов «включить-выключить», «пуск—останов» в интервале от 62 до 0,2 цикла/ч. Значительное сокращение продолжительности испытаний было достигнуто также за счет высокой чувствительности метода поверхностной активации.

Для достоверного определения интенсивности изнашивания с точностью ± 8 мкм достаточно, чтобы износ сопрягаемой пары ставил 10-15 мкм. Это означает, что не обязательно проводить испытание узлов, по продолжительности эквивалентное межремонтному периоду. Применение метода ускоренных испытаний узлов в сочетании с методом поверхностной активации связано с дополнительными расходами трудовых и материальных ресурсов. Разработанная методика технико-экономического обоснования включает расчет затрат при проведении ускоренных испытаний и оценку их влияния на эффективность повышения долговечности исследуемых узлов. При этом определяются капитальные затраты, продолжительность и

себестоимость испытаний, годовой экономический эффект от повышения долговечности.

Применительно к установившемуся порядку комплектования базы ремонтного фонда на предприятиях газозащитных подразделений, устранив дефекты ($R=1$), трубная арматура поступает на склад ремфонда (СРФ). Продаже комплектующего изделия транспортной трубной системы или оборудования должны предусматривать проведение планово-производительных испытаний на специальном оборудовании (ППОР), включающие эксплуатационную обкатку (t_{30}). Проявившиеся в процессе проведения ППОР дефекты могут привести к появлению отказов при эксплуатации агрегата у потребителя с интенсивностью λ_{30} . Устранив их ($R=1$), например, трубная арматура поступает потребителю.

При абсолютной надежности конструкционного элемента транспортная система должна отработать гарантийный период t_G без отказов, то есть $\lambda_G = 0$. В реальной эксплуатации происходит ухудшение технико-экономических показателей техники и ее надежности. Поэтому производитель ремонтно-восстановительных работ должен давать нормативное число отказов и наработку на отказ в гарантийный период; устанавливать определенное значение убыли вероятности безотказной работы ΔR_G . Фактические значения этих показателей должны быть меньше или равны нормативным значениям, которые установлены техническими условиями на новую или отремонтированную технику внесены в их сертификаты качества.

Таким образом, если бы не проводилась производственно-цеховые и эксплуатационная обкатка (испытания), большое число потенциальных отказов интенсивностью λ_3 и λ_{30} могли возникнуть в начальный период эксплуатации конструкционного элемента системы у потребителя ($t_{II} = t_{30} + t_{30}$). При этом следует ожидать, что $\lambda_3 \ll \lambda_3$ и $\lambda_3 \ll \lambda_{тц}$.

Известно, что новый или отремонтированный трубный элемент обладает определенным уровнем технического состояния конструктивных элементов и транспортной трубной энергосистемы в целом, то есть имеет исходную потенциальную надежность. Значения этих показателей обусловлены конструктивно-технологическими особенностями (размерами, компоновкой, качеством изготовления и т.д.), совершенством технологического процесса (вспомогательными материалами, режимами обработки) и технологической дисциплиной изготовления или ремонта оборудования и энергетических систем.

Внедрение ускоренных испытаний обусловлены необходимостью проектирования, изготовления и приобретения экспериментального оборудования, контрольно-измерительной аппаратуры, их монтажа и отладки. Они определяются по зависимости вида:

$$k_{yu} = k_0 + k_{зД} + k_B + k_T + k_M - k_{выс}, \quad (5.3)$$

где k_0 – затраты на оборудование и контрольно-измерительную аппаратуру (составляют около 60% капитальных затрат); $k_{зД}$ – стоимость производственного помещения, занятого под испытательный стенд и аппаратуру (около 27%); k_B – стоимость вспомогательного оборудования (около 3%); k_T – транспортно-заготовительные расходы (около 3%); k_M – расходы на монтаж и отладку оборудования и аппаратуры (около 7%); $k_{выс}$ – стоимость высвобождающихся трудовых и материальных средств. Приведенные численные данные отражают опыт работы энерго-ремонтного предприятия ОАО «Харьковэнергоремонт».

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования выявили повторяемость дефектов и отказов новой и отремонтированной трубной арматуры на стадиях производства и в гарантийный период эксплуатации в зависимости от качества выполнения технологических

операций в процессе изготовления или ремонта. Анализ характерных причин позволил выполнить классификацию этих дефектов и отказов.

Оценка весомости технологических операций в получении информации о качестве изготовления или ремонта трубной арматуры позволили выделить три вида работ в технологии производства или ремонта, которые позволяют выявить дефекты и предупредить возможные отказы. Такими операциями являются: входной контроль, обкатка, техническое обслуживание после обкатки. Поскольку понятие отказа предусматривает нарушение работоспособности трубной арматуры при ее эксплуатации, то устранение или неустранение скрытых или явных дефектов при изготовлении или ремонте рассматривается как предупреждение отказов (рис. 5.5).

На основании изложенного, можно считать, что первоначальный износ появляется в первый период приработки двух деталей. Он в значительной степени зависит от первоначального (конструктивного) зазора и первоначального качества рабочих поверхностей новых сопряженных деталей, трубной запорной арматуры.

Выполненные исследования по установлению факта влияния технологической наследственности при изготовлении и ремонте высокоточных прецизионных изделий (кранов, вентилей, топливной аппаратуры дизелей и др.), позволили установить следующие характерные отказы нарушение герметичности, снижение надежности в процессе эксплуатации конструктивных элементов оборудования и систем новой и отремонтированной арматуры.

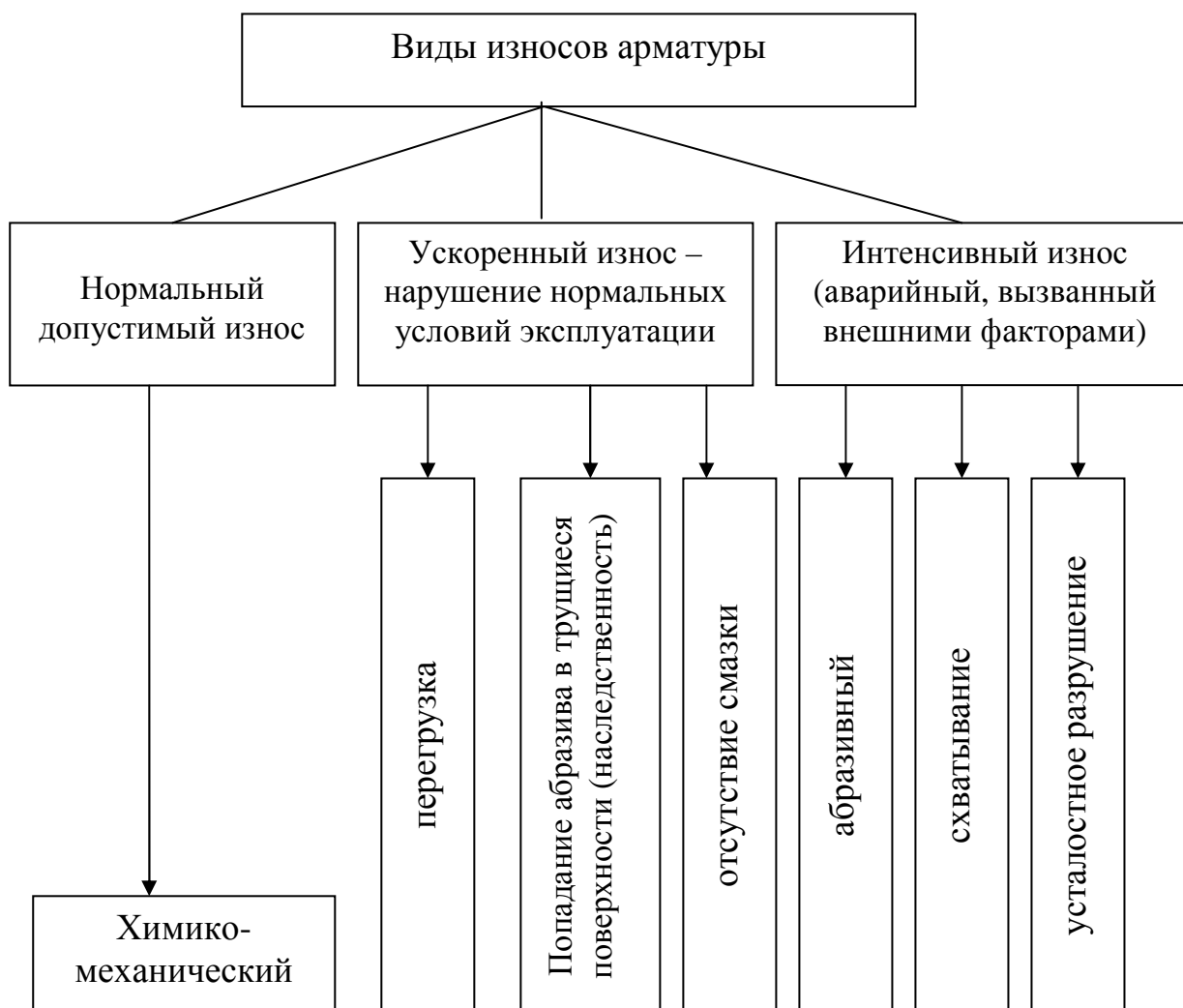


Рис.5.5 – Предупредительное сообщение о возникновении дефектов трубной арматуры в зависимости от видов износов

5.4. Определение взаимосвязи показателей надежности с объемами ремонтно-эксплуатационных работ

Осуществление всех видов ремонтных работ в газовых подразделениях распределяется между ремонтно-механическим производством и ремонтными базами газовых участков или других служб в зависимости от размера и характера газового энергетического хозяйства. Основные задачи всех организационно-технических мероприятий направлены на то, что необходимо существенно повысить технический уровень и надежность

отечественных энерготранспортных систем; значительно снизить потери газа, нефти и др. энергоносителей в процессе их транспортирования; добиться повышения экологической безопасности на всех уровнях производства. Однако, показатели надежности запорной арматуры в условиях эксплуатации по-прежнему ожидают себе лучшего и составляют в ряде случаев 40-60% нормативных, а отремонтированных и еще ниже.

Эксплуатационная изменчивость скоростного напора энергоносителя в транспортной трубопроводной системе является традиционным предметом исследования и нормирования. Зависимость утечки энергоносителя от износа прецизионных пар трубопроводной арматуры изучена недостаточно, хотя результаты исследований указывают на целесообразность учета этого фактора при проектировании, создании и эксплуатации теплового, газового и другого энергетического оборудования транспортных трубопроводных систем [1, 4]. Как указывалось ранее, установлено, что несмотря на тесную взаимосвязь между техническими свойствами надежности конструктивных элементов, например, трубной арматуры существуют еще экономические и экологические связи, которые обусловлены затратами на проектирование, производство и эксплуатацию, направленные на обеспечение требуемой надежности и экологической безопасности.

Исходя из изложенного выше, проблема, которая определяет знаки отношений связей между элементами транспортными трубопроводными системами необходимо рассматривать как комплексы отношений операционных преобразований. Комплексные системы не следует рассматривать как тождественные организационным комплексом ибо они могут быть слишком упрощенными.

Таким образом, вместо словесного упрощения описания связей и их значений, будем обращать внимание на процессы, реализованные с указанными системами. Пользуясь теми же самыми формулировками и обозначениями, вместо системы исследовательского комплекса рассматриваемой в качестве системы нами названо просто «исследование» и

т.д. Все то, что имеет значение для социально-технической адекватности технических транспортных средств и оборудования энергетики, служащие удовлетворению потребностей эксплуатации становятся одним из объектов проектирования и конструирования. Необходимым условием этого являются существования связей: двухсторонних или односторонних, то есть связь должна существовать между проектированием, конструированием и эксплуатацией в сфере энергообеспечения потребителей потребителя. Проектирование и конструирование должны учитывать возможности производства и ремонта каждой системы или отдельных конструктивных элементов. Именно поэтому, термином «исследовательско-проектно-конструкторского-технологическо-внедренческого процесса» мы рассматриваем единство техники-технологии-экономики по удовлетворению потребностей народного хозяйства в энергообеспечении.

При системном подходе к формированию и обеспечению надежности необходимо решить три задачи, главной из которых требует обосновать и установить в виде норматива уровень надежности, связанной с герметизацией при перекрытии потока энергоносителя. Это связано с тем, что обеспечение работоспособности всего комплекса систем газификации, продление его ресурса стало большой государственной проблемой, поскольку велико влияние на конечные результаты народного хозяйства. До настоящего времени получено мало экспериментальных данных об изменениях площади контактирования прецизионных пар трубной арматуры под влиянием конструкторско-технологической наследственности и динамики изнашивания кранов, вентиляей.

В следствие старения и износа прецизионных пар увеличиваются потери энергоносителя, а следовательно, уменьшается долговечность работы арматуры, причем непропорционально. К примеру, в ряде случаев, при снижении запорной способности, на 15% потери энергоносителя в транспортной трубопроводной системе увеличивается на 18-20%. Снижение запорной части – герметичности неодинаковая, например, вентиля

значительно большая по сравнению с металлическим краном. С увеличением зазора в запорной части трубопроводной арматуры цена потерь энергоносителя возрастает. Потери от неучтенных скрытых так называемых «простоев» герметизирующих элементов транспортных трубопроводных систем достигают больших размеров.

Практически один отказ современной трубной арматуры по категории ремонтной сложности требует больше материальных и финансовых затрат. Чем, например, устранение утечки через трещину. Причем, в полевых условиях значительно труднее устранить утечку энергоносителя из-за дефекта трубной арматуры; и тем труднее и сложнее доводочные работы у арматуры, которая эксплуатировалась дольше нормативного срока ее работы (рис.5.6).

Простои транспортной трубопроводной системы в практике эксплуатационных иногда достигают 100г.

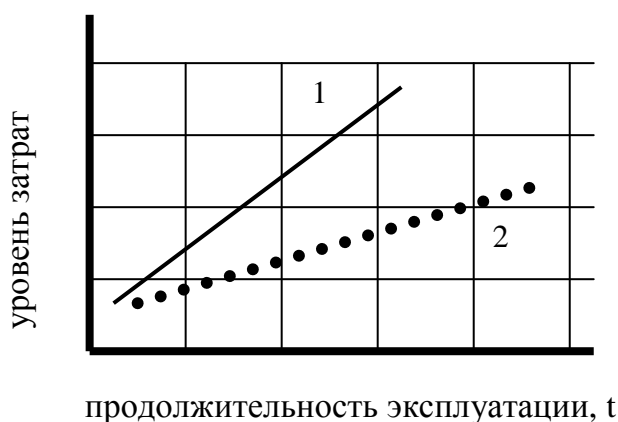


Рис.5.6 – Изменение количества отказов пробкового крана в зависимости от срока ввода в эксплуатацию:

1 – в полевых условиях; 2 – в стационарных условиях

При низком уровне безотказности работы трубной арматуры, что влечет за собой проведение дополнительных работ по обеспечению работоспособности транспортной трубопроводной системы, трудозатраты резко возрастают. С учетом продолжительности ТО и устранения отказов

трубной арматуры простои основного трубопровода достигают 2 и более суток [182].

Известно, что безотказность – свойства конструктивного элемента транспортной трубопроводной системы (ТТС) непрерывно сохранять свою работоспособность в течение некоторой наработки [121,168]. Чем выше этот показатель у агрегата, тем более длительный будет срок надежной и безопасной его эксплуатации. Используя теоретические исследования Полянского А.С., который изучал взаимосвязи длительности механизированных операций с их технической оснащённостью и безотказностью машино-тракторных агрегатов (МТА), предоставляются эти разработки, методический подход перенести на условия ремонтно-восстановительных работ трубной арматуры. Это позволит: во-первых, определить целесообразную длительность полевых операций и необходимый уровень их технического оснащения (количество и состав ТрА при заданной безотказности агрегатов): установить целесообразный уровень эксплуатационной безотказности ТрА, который определяется конструктивно-технологическими параметрами запорной арматуры и системой ремонтно-обслуживающих воздействий; во-вторых, обосновать стратегию обеспечения безотказности транспортной трубопроводной системы и ТрА в целом при реализации механизированных процессов в различных организационно-экономических и зональных условиях.

Зная трудоемкость i операции j агрегатом:

$$A_{0ij} = F_i \cdot q_{за.ij} \cdot H, \text{кДж} \quad (5.4)$$

часовую герметизирующую способность j агрегата.

$$A_{rij} = F_i \cdot q_{за.ij} \cdot \xi \cdot H \text{ кДж} / \text{ч}, \quad (5.5)$$

или

$$A_{rij} = \frac{1,05 \cdot 10^5 \cdot \xi_j}{\eta_{ej} \cdot \eta_{Tij}}, \text{ кДж / ч }, \quad (5.6)$$

так как

$$q_{\text{э.га.}ij} = \frac{A_T}{H \cdot \eta_{ej} \cdot \eta_{Tij}} = \frac{1,05 \cdot 10^5}{H \cdot \eta_{ej} \cdot \eta_{Tij}}, \text{ мз / э.га}, \quad (5.7)$$

чистое время выполнения i операции определим по формуле:

$$t_{ij} = \frac{F_i \cdot q_{\text{га.}ij} \cdot H \cdot \eta_{ei} \cdot \eta_{Tij}}{1,05 \cdot 10^5 \cdot \eta_i \cdot k_{ij}}, \text{ ч} \quad (5.8)$$

где F_i – площадь, на которой должны выполняться i операция, м^2 ;

$q_{\text{га.}ij}$ – удельный расход энергии j агрегатом на i операции ($\text{м}^3/\text{ч}$);

H - теплотворная способность топлива, кДж/кг;

η_{ej}, η_{Tij} – эффективный и тяговый КПД j энергетического средства

соответственно ;

ξ_1 – коэффициент перевода j энергетического средства в эталонное;

η_j – количество j агрегатов, шт.;

k_{ij} – коэффициент использования энергетической способности j средства на i операции.

При необходимости определения длительности i операции: в рабочих сменах знаменатель в уравнении умножаем на продолжительность времени смены $T_{см}$ и коэффициент сменности $K_{см}$.

Фактическая длительность операции i (при прочих равных условиях) будет равна

$$t_{\phi ij} = t_{ij} + t_{TOij} + t_{\phi ij} + C_{ij}, \text{ ч} \quad (5.9)$$

а коэффициент использования рабочего времени смены τ_{ij} определим из уравнения

$$\varepsilon_{ij} = \frac{t_{ij}}{t_{\phi ij} = t_{ij} + t_{TOij} + t_{\phi ij} + C_{ij}}, \quad (5.10)$$

где $t_{TOij}, t_{\phi ij}$ – внутрисменное время, которое затрачивается соответственно на плановое ТО и устранение отказов j агрегата на i операции, ч;
 C_{ij} – прочие затраты времени, ч.

При использовании ТрА предусмотрено проведение технического обслуживания ТО1 и ТО2, на что затрачивается время смены:

$$t_{TOij} = Z_{TO1ij} \cdot t_{TO1j}^H + Z_{TO2ij} \cdot t_{TO2j}^H, \text{ ч} \quad (5.11)$$

где Z_{TO1ij}, Z_{TO2ij} – количество соответственно ТО1 и ТО2 j агрегатов за время выполнения i операции, шт.;

t_{TO1j}^H, t_{TO2j}^H – нормативная трудоемкость ТО1, ТО2 j агрегатов, чел.-ч.

Общее количество ТО1 и ТО2, которые будут проведены j агрегатам на i операции, подсчитано по формуле:

$$Z_{TO1, TO2ij} = \frac{A_{0ij}}{\Pi_{TO1} \cdot \xi_j \cdot q_{\text{э.га.ij}} \cdot H} \text{ шт}, \quad (5.12)$$

а количество ТО 2 - из уравнения

$$Z_{TO2ij} = \frac{A_{0ij}}{\Pi_{TO2} \cdot \xi_1 \cdot q_{\text{э.зaij}} \cdot H} \text{шт}, \quad (5.13)$$

где Z_{TO2ij} – периодичность проведения ТО1 и ТО2, мото-ч.

Следовательно, количество ТО1 будет равно

$$Z_{TO1,ij} = Z_{TO1,TO2ij} - Z_{TO2,ij} \text{шт}, \quad (5.14)$$

или

$$Z_{TOij} = \frac{A_{0ij}}{\xi_j \cdot q_{\text{э.зaij}} \cdot H} \left(\frac{1}{\Pi_{TO1}} - \frac{1}{\Pi_{TO2}} \right) \text{шт}, \quad (5.15)$$

Затраты времени смены на техническое обслуживание j агрегатов на i операции определим по выражению

$$Z_{TOij} = \frac{F_i \cdot q_{\text{зaij}} \cdot H \cdot \eta_{ei} \cdot \eta_{Tij} \cdot b_{ij}}{1,05 \cdot 10^5 \cdot \xi_j \cdot m_{TOij}} \left[\left(\frac{1}{\Pi_{TO1}} - \frac{1}{\Pi_{TO2}} \right) t_{TOij}^H + \frac{t_{TO2j}^H}{\Pi_{TO2}} \right] \text{ч}, \quad (5.16)$$

где b_{ij} – доля технических обслуживания, выполняемых внутри смены;

m_{TOij} – количество обслуживающего персонала, чел.

Внутрисменные потери времени из-за простоев ТрА по причине неисправностей машин определяются по формуле:

$$Z_{TOij} = Z_{0ij} \cdot t_{0ij}^\Phi = \frac{A_{0ij} \cdot t_{0ij}^\Phi}{\Pi_{0ij} \cdot \xi_j \cdot q_{\text{э.зaij}} \cdot H} \text{ч}, \quad (5.17)$$

или (в развернутом виде)

$$Z_{TOij} = \frac{F_i \cdot q_{\text{зaij}} \cdot H \cdot \eta_{ei} \cdot \eta_{Tij} \cdot b_{ij}}{1,05 \cdot 10^5 \cdot \xi_j \cdot m_{TOij}} \text{ч}, \quad (5.18)$$

где Z_{0ij} – количество отказов j агрегатов на i операции, шт.;

t_{0ij}^{Φ} – фактическая средняя трудоемкость устранения одного отказа, н/ч;

Π_{0ij} – средняя периодичность отказов, ч;

m_{0ij} – количество членов звена, устраняющего неисправности, чел.

С учетом выражений фактическая продолжительность выполнения i операции j агрегатами будет равна

$$t_{\Phi ij} = \frac{F_i \cdot q_{zaij} \cdot H \cdot \eta_{ei} \cdot \eta_{Tij}}{1,05 \cdot 10^5 \cdot \xi_j} \left\{ \frac{1}{\eta_j k_{ij}} + \frac{b_{ij}}{m_{0ij}} \cdot \left[\left(\frac{1}{\Pi_{TO1}} - \frac{1}{\Pi_{TO2}} \right) \cdot t_{TOij}^H + \frac{t_{TO2j}^H}{\Pi_{TO2}} \right] + \frac{t_{0ij}^{\Phi}}{\Pi_{0ij} + m_{0ij}} + C_{II} \right\} \quad (5.19)$$

Анализ выражения, описывающего взаимосвязь длительности механизированных операций с их технической оснащенностью и безотказностью ТрА, показывает, что при существующей безотказности ТрА с ростом уровня технической оснащенности эффективность выполнения ремонтно-восстановительных работ снижается.

Повышение технического уровня трубной арматуры обеспечивается путем проведения ремонтных работ при текущем и капитальном ремонте газопроводов, где целесообразно устранять мелкие дефекты и утечки, производит ремонт запорной части арматуры и другие повреждения, изоляций, колодцев, опор, окрашивать элементы газопроводов, заменяя неисправные краны, задвижки, отдельные участки труб. При плановом ремонте ГРС, ГРП производить разборку оборудования с заменой и ремонтом износившихся частей на ремонтно-механическом предприятии.

Аварийно-восстановительные работы, которые выполняются на подземном газопровод входят работы по замене задвижек в колодце. Работа газоопасная и должна выполняться по нормативному документу, при полностью снятом напоре энергоносителя перекрытии и отключении газопровода. Новая задвижка должна быть однотипна с заменяемой по диаметру и давлению, а также предварительно испытана в стационарных условиях на прочность и герметичность.

В результате суммарное время простоя на ТО и ремонт возрастет до 5-6ч, а, следовательно, на такое же число увеличивается продолжительность выполнения технологической операции.

При выполнении ТО в полном объеме время простоя агрегатов из-за отказов сокращается в 1,5-2,0 раза, а простои самого запорного узла на текущем ремонте – в три-четыре раза. Структуру простоев трубопроводной арматуры в зависимости от полноты и качества проведения ТО и ремонта можно оценить по формуле:

$$A = \frac{\sum t_i(\phi)}{\sum t_i(n)}, \quad (5.20)$$

где $\sum t_i(\phi)$ и $\sum t_i(n)$ - фактическая и нормативная удельная трудоёмкость ТО и ремонта, чел-ч/м-ч.

При выполнении ТО в полном объёме ($A = 1,0$) время простоев из-за отказов трубной арматуры сокращается в 1,5-2,0 раза, а при $A=0,5$ простои транспортной системы на ремонт возрастают в два-три раза. Графическая иллюстрация типовой структуры ремонтного цикла разрабатывается каждым предприятием.

Тенденция развития современной техники, обусловленная научно-технической революцией, такова, что сложные транспортные трубопроводные системы все в большей степени начинают обслуживаться автоматически с минимальным участием обслуживающего персонала. Поэтому науку об эксплуатации сложных транспортных энергетических систем можно было бы назвать наукой об автоматизированном управлении их техническим состоянием с целью получения заданных показателей работы систем при минимизации средних затратах на эксплуатацию.

Усложнение конструктивных элементов транспортных энергетических трубных систем и оборудования привело к увеличению разнообразия входящих в них узлов(блоков) по характеру используемых физико-

химических процессов, характеру и степени нагрузок, к различным уровням их надежности. Ныне оптимальных сроков выполнения технического обслуживания и ремонта для сложного объекта в целом практически не существует. Выполнение заранее назначенного объема профилактических работ в установленные сроки для большинства съемных узлов и агрегатов не уменьшает вероятности возникновения отказов, а для некоторых, например, высокоточной трубной арматуры увеличивает число послеремонтных отказов.

5.5. Научные основы разработки планов технического обслуживания и ремонта газового оборудования

С развитием газотранспортных систем, широкой насыщенностью жилых зданий и промышленных предприятий разнообразной газовой аппаратурой и приборами, с резким увеличением количества эксплуатирующегося газового оборудования и трубопроводов с далеко превысившими гарантированными сроками их эксплуатации и большого дефицита запасных частей проблема планирования и проведения ремонтно-восстановительных работ становится все актуальнее.

Изучение состояния вопроса показывает, что в ряде ремонтно-эксплуатационных газовых хозяйств, планирование ремонтов газотранспортных систем и оборудования не отражает современных достижений науки и техники [182]. Технический уход и капитальный ремонт газового оборудования и трубопроводных систем является объективной необходимостью. В деталях и узлах оборудования, независимо от того, работают они или находятся на хранении, изменяются первоначальные свойства металла и параметры работы деталей, сопряжений, узлов, в результате чего утрачивается частично или полностью их надежность, снижаются их технико-экономические показатели работы. Научой доказано и практикой газоэнергетики подтверждено, что какой бы не была совершенной конструкция оборудования и когда бы система не

вводилась в эксплуатацию, в ряде случаев обнаруживаются дефекты-недоделки. С другой стороны, чем дольше она эксплуатируется, снижается ее надежность, чем больше изношен и «старчески» ослаб материал, из которого она сделана, тем объемнее становятся ремонтные работы.

Разработка программного обеспечения, создание базы данных технического состояния по вновь вводимым и эксплуатирующемуся конструктивным элементам систем газификации должна быть не самоцель, а мощное средство повышения технического уровня развития ремонтно-эксплуатационной базы газозенергетики и экономики страны (рис. 5.8).

Реализация социально-экономических программ в газозенергетике должна основываться на научно-технологических достижениях науки и техники в смежных отраслях промышленности. В этой связи технология ремонта газотранспортных систем и оборудования должна развиваться в соответствии с необходимостью внести решительный перелом в реализацию порядка и объемов планируемых ремонтов эксплуатируемого парка газового оборудования и услуг для населения. Высокая надежность ремонта газотранспортных систем и оборудования может быть достигнуто, когда будут реорганизованы ремонтно-механические базы, которые будут располагать:

- ремонтно-эксплуатационными производствами, оснащенными современным технологическим оборудованием, которые должны быть готовыми постоянно решать задачи ремонтно-восстановительных работ;
- обслуживающим персоналом высокой квалификации, способным в любой обстановке точно определять причины отказов газового оборудования, характер неисправностей и умеющим быстро их устранять;
- базой данных, т.е. точным учетом технического уровня работоспособности газового оборудования и его систем с целью своевременного планирования их ремонта;
- бесперебойным материально-техническим обеспечением ремонтных баз материалами, запасными частями и др.



Рис.5.8 – Основные организационно-технические мероприятия, направленные на повышение эффективности ремонта

Поддержание газового оборудования и трубопроводов в работоспособном и безопасном состоянии при их эксплуатации должна достигаться применением единой системы технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов (ППОР), базирующихся на научной основе и накопленном опыте передовых ремонтных производств.

Система ППОР имеет профилактическую направленность (рис.5.9), т.е. периодически, после отработки каждым агрегатом (конструктивным элементом) определенного числа нормочасов, должны производиться профилактические осмотры и различные виды плановых ремонтов, чередование, которых зависит от назначения оборудования, особенностей его ремонта, в том числе от энергетических характеристик, массы, ремонтпригодности ее узлов и т. д.

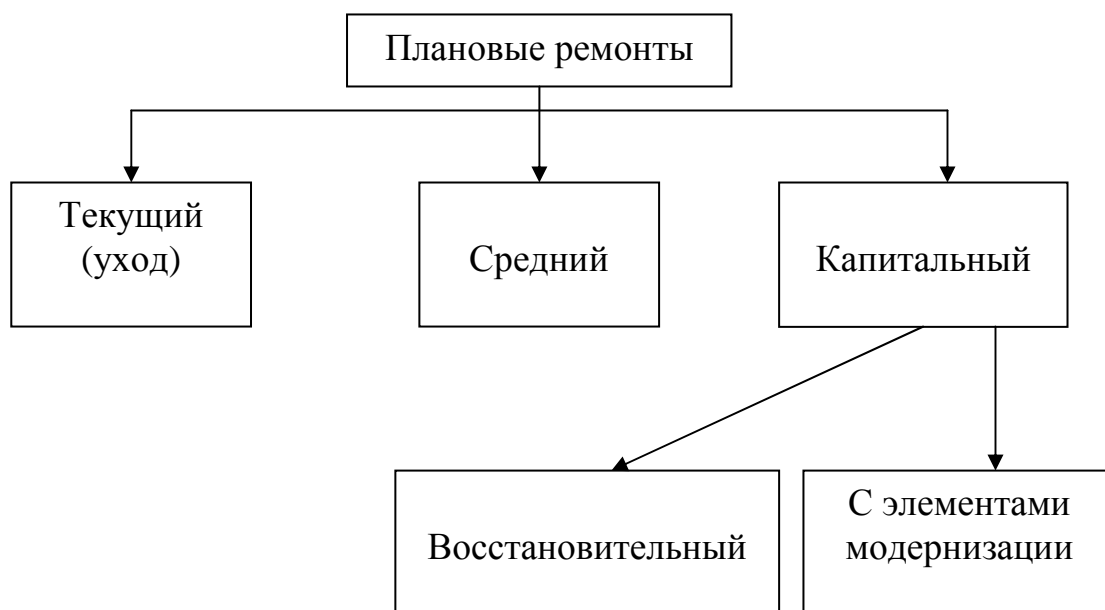


Рис.5.9 – Виды ремонтно-восстановительных работ

В систему периодических ремонтов входит планирование ремонтов на основе изучения износов деталей, узлов и планирование системы в целом.

Периодические виды технического обслуживания (ТО) - это регламентные работы, которые должны выполняться в рамках эксплуатационного предприятия. Они включают текущий, средний и капитальный ремонты, и являются разновидностью регламентных работ. Последовательность капитальных и средних ремонтов и других ремонтно-восстановительных работ, входящих в единую систему ремонтов, должна основываться на базе данных предприятия, и включать:

- периодическое выполнение технических осмотров и различного рода ремонтов после определенной наработки газового оборудования и трубопровода;

- установление последовательности профилактических и ремонтных воздействий, их периодичности в зависимости от условий эксплуатации оборудования, а также его технических характеристик и физико-механических свойств материала их элементов;

- выполнение профилактических и разных ремонтных воздействий в пределах регламентированных нормальных объемов работ, обеспечивающих нормальное безопасное работоспособное состояние газотранспортных систем.

Таким образом, система ППОР имеет профилактическую направленность. Ее сущность заключается в том, что периодически, после отработки каждым агрегатом определенного числа часов, проводятся профилактические осмотры и различные виды плановых ремонтов, чередование которых зависит от назначения оборудования, особенностей его ремонта, в том числе от энергетических характеристик, массы, ремонтпригодности ее узлов и т.д.

Сущность системы периодических ремонтов заключается в планировании ремонтов на основе изучения износов деталей, узлов и планирования системы в целом. Сроки выполнения ремонтов

устанавливаются на основе изучения закономерностей возникновения неисправностей и отказов однотипных деталей узлов трубопроводов при работе в различных условиях эксплуатации, т.е. на основе статических данных по их износам. Для каждого отдельного оборудования (группы) устанавливается структура ремонтного цикла [171]. В основу чего должен быть положен классификатор.

Определение технического состояния газового оборудования при плановых осмотрах позволяет вносить соответствующие изменения в структуру ремонтного цикла. Исходя из изложенного выше, можно утверждать, что структура ремонтного цикла - это порядок чередования определенных видов технических обслуживаний, регламентных предупредительных работ и ремонтов через определенные промежутки времени (рис.5.10), равные соответственно межосмотровому и межремонтному периодам в интервале времени между двумя капитальными ремонтами. Считаем, что структура ремонтного цикла зависит от назначения газового оборудования и трубопроводных систем, ее конструктивных особенностей, ремонтпригодности, условий эксплуатации, которые отвечают признакам классификации энерготранспортных систем. Текущий ремонт или техническое обслуживание заключается в устранении неисправностей или восстановлении отдельных неисправных деталей, узлов, механизмов, блоков, приборов и агрегатов, а также в проведении при этом необходимых регулировочных, крепежных, сварочных, слесарно-механических и других видов ремонтных работ. Текущий ремонт должен проводиться силами обслуживающего персонала эксплуатационных хозяйств с привлечением сил ремонтно-механических баз.

В объем среднего ремонта, который производится для восстановления или замены изношенных и поврежденных деталей, трубной арматуры, узлов, механизмов, блоков, приборов и агрегатов. При этом обязательно необходимо проверять техническое состояние остальных составных частей изделия, устранять обнаруженные неисправности и отказы, проводить

регулирующие, крепежные, сварочные, слесарно-механические и другие виды ремонтных работ, а также необходимые проверки и испытания. Считается, что средний ремонт должен обеспечивать установленный межремонтный срок эксплуатации газового оборудования до очередного планового ремонта [182].

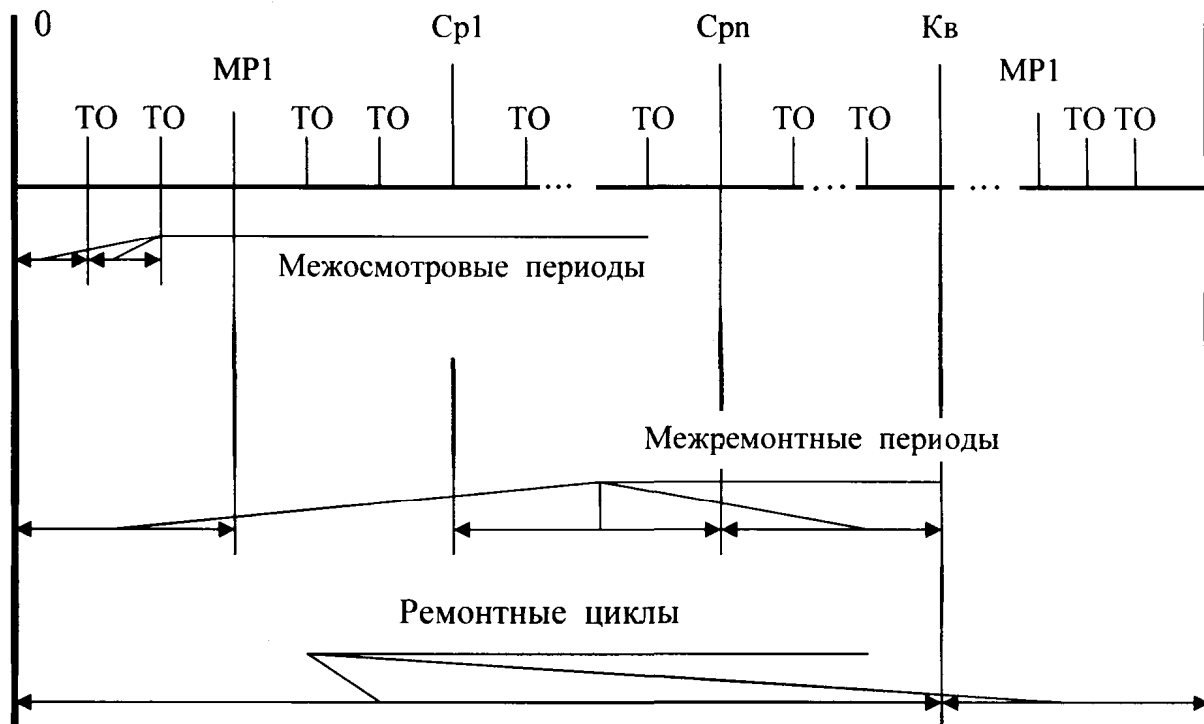


Рис.5.10 – Типовая структура ремонтного цикла:

ТО - техническое обслуживание - регламентированные работы; Мр - малый текущий ремонт; Ср - средний ремонт; Кр - капитальный ремонт.

Как показывают исследования и изучение опыта проведения работ по среднему ремонту, он должен выполняться современными подвижными и стационарными ремонтными подразделениями газовых хозяйств после выработки оборудованием установленного ресурса или при аварийных повреждениях (выходе из строя) ее узлов, механизмов, блоков и агрегатов.

Восстановление первоначальных свойств конструктивных элементов газового оборудования и трубопроводных систем, повышение эксплуатационной их надежности обеспечивается капитальным ремонтом,

который заключается в полной разборке и дефектации газового оборудования, ее составных частей, замене или восстановлении изношенных и поврежденных деталей, проведении сварочных, слесарно-механических и других видов ремонтных работ, восстановлении защитных покрытий, сборке изделия, его комплексной проверке, регулировке и испытании [133]. Он должен выполняться на ремонтных предприятиях газовой промышленности или в специальных ремонтных подразделениях хозяйств после выработки установленного технического ресурса газового оборудованиями газотранспортных систем. Планирование объемов и сроков проведения капитальных ремонтов должно отражать современные достижения науки и практики, с учетом накопленного производственного передового опыта.

В результате выполненных исследований следует рекомендовать, что в основу разработки штанов проведения предупредительных ремонтов должна быть положена база данных о техническом состоянии всего комплекса газоэнергетического региона, а также полагаем, что результаты исследования могут быть использованы в практической работе газотранспортных и эксплуатационных газовых хозяйствах Украины.

РАЗДЕЛ 6

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЕМ НАДЕЖНОСТЬЮ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

6.1. Формирование свойств надежности элементов транспортных трубопроводных систем на стадии производства

Элементы транспортных трубопроводных систем и другое газовое энергетическое оборудование, вводимое в эксплуатацию, характеризуется начальным техническим состоянием, обусловленным особенностями конструкции, материалом, качеством изготовления или ремонта, издержками транспортировки и хранения [8, 77].

Сроки службы высокоточных прецизионных пар трубной арматуры, независимо от потери работоспособности, определяют все показатели надежности и долговечности. Характер перехода деталей прецизионной пары в неработоспособное состояние, выход из строя одной части деталей будет больше сказываться на показатели надежности, в то же время как другая часть деталей своим преждевременным выходом из строя обусловит только показатели долговечности [20, 133].

Износ высокоточных прецизионных пар, происходящий в процессе эксплуатации трубной арматуры, приводит к потере герметизирующей способности и обуславливает во времени тот или иной уровень надежности транспортной трубопроводной системы [2, 5]. На общем сроке рационального использования прецизионных пар трубной арматуры сроки службы высокоточных сопрягаемых деталей проявляется на работе эксплуатационного газового энергетического сравнительно незначительно или просто малозамечаемом факте.

Потери герметизирующей способности трубной арматуры, ее работоспособности за счет износа сопрягаемых поверхностей и увеличении между ними зазоров происходит постепенно. Поэтому в большинстве случаев эти дефекты - фактические отказы обнаруживаются только при очередном ремонте.

В силу этого показатели долговечности, в частности, значения оптимальных сроков эксплуатации трубной арматуры транспортных энергетических систем « $T_{\text{опт.}}$ » определяются в основном сроками службы изнашивающихся сопрягаемых прецизионных пар. В отдельных случаях, износ, например кранов, вентилей вызывает повышенную утечку энергоносителя, что сказывается на показателях их надежности и экологической безопасности эксплуатируемых систем.

Важнейшей технологической операцией процесса изготовления или ремонта трубной арматуры является притирочно-доводочные работы и их приработка. Особенность приработки состоит в том, что она связывает изготовление или ремонт с эксплуатацией, являясь завершающей технологической операцией изготовления или ремонта. Начальная операция использования изделия проводится частично на заводе-изготовителе или ремонтном предприятии (далее по тексту будем использовать обобщённый термин - завод), а завершается - в условиях эксплуатации. В процессе приработки новая или отремонтированная трубная арматура адаптируется к условиям эксплуатации.

В соответствии с действующим стандартом Украины (ДСТУ 2860-94) приработка рассматривается как процесс повышения показателей безотказности объекта, использующий функционирование каждого изделия в предписанных окружающих условиях с его успешным неплановым ремонтом после каждого отказа в течение периода ранних отказов.

При этом, возможный начальный период наработки объекта, в течение которого имеет место устойчивая тенденция к уменьшению параметра

потока отказов, что обусловлено наличием, постепенным выявлением и устранением скрытых дефектов, называется периодом приработки.

В период приработки, в частности, прецизионная пара трубной арматуры, подвергается техническим воздействиям, проведение которых повышает показатели безотказности.

Таковыми работами, определяющими надежность трубной арматуры являются:

а) на заводе:

- входной контроль комплектующих деталей узлов и агрегатов при селективной сборке;

- обкатка на холостом ходу и под нагрузкой;

- контрольный осмотр и устранение скрытых заводских дефектов;

б) в эксплуатации:

- входной контроль комплектности и начального технического состояния перед эксплуатационной обкаткой;

- эксплуатационная обкатка на холостом ходу и под нагрузкой;

- устранение скрытых заводских дефектов;

- пригоночно-регулирующие работы.

Входной контроль деталей узлов и элементов транспортных трубопроводных систем в целом перед эксплуатационной обкаткой производится с целью определения их фактического технического состояния, что позволяет установить необходимый объем профилактических работ, а обкатка прецизионных пар арматуры обеспечит приработку трущихся поверхностей сопрягаемых деталей, что будет способствовать предупреждению появления неисправностей, которые повлекут за собой утечку транспортируемого энергоносителя.

Выполнить эксплуатационную обкатку в условиях эксплуатации затруднительно. Нужны значительные материальные и трудовые ресурсы. Практически невозможно воспроизвести многообразие условий эксплуатации различных режимов перекачки энергоносителя [20]. Кроме

того, отключение одного участка трубопроводной системы и перевод на запасной требует проведение других операций во избежание нарушения энергообеспечения потребителя.

Метод измерения безотказности новой и отремонтированной техники, предложенный А.С.Полянским [108], в период приработки при вводе ее в эксплуатацию и работы в гарантийный период (рис.6.1) может быть применен и для элементов транспортных трубопроводных систем [166].

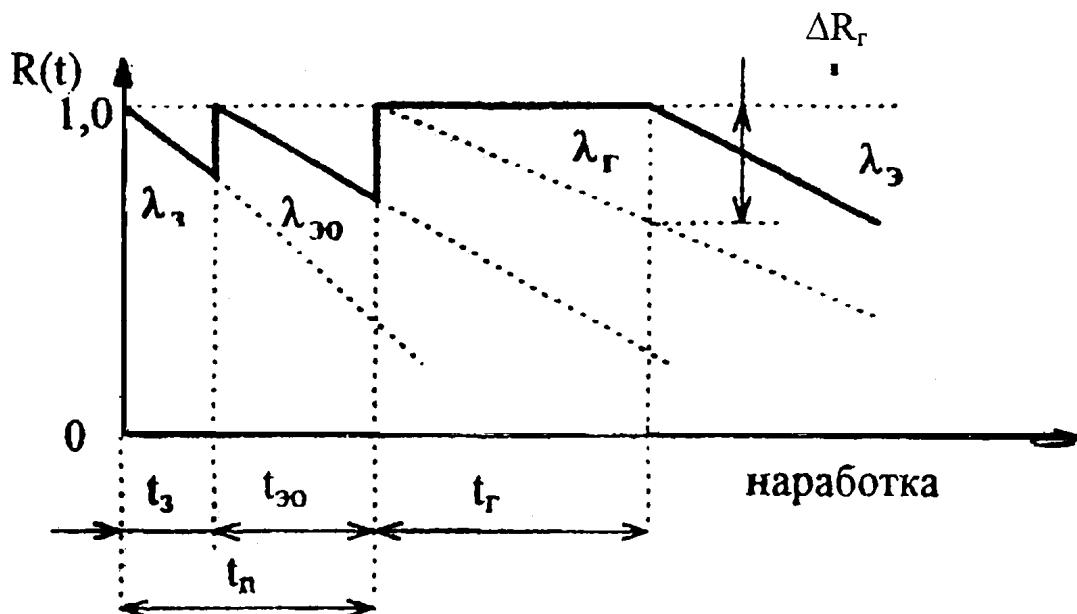


Рис. 6.1 – Модель безотказности новой и отремонтированной машины в период приработки:

$t_з$ - заводская обкатка; $t_{зо}$ - эксплуатационная обкатка; $t_п$ - период приработки; $t_г$ - период гарантийной эксплуатации; (другие обозначения позиций в тексте)

На первом этапе ($t=0$), трубная арматура (кран, вентиль, задвижка) имеет вероятность безотказной работы, равную единице ($R=1$). Затем в течение определенного времени $t_з$ она проходит притирку (обкатку). Проявляются дефекты, унаследованные технологией изготовления или ремонта и селективной сборки, которые могут привести к появлению отказов эксплуатации узла у потребителя с интенсивностью $\lambda_з$.

Устранив дефекты ($R=1$), арматура поступает в технический центр комплектации (ТЦК). Продажа трубной арматуры потребителю через ТЦК предусматривает проведение ПП, включающая эксплуатационную обкатку (λ_{zo}). Проявившиеся в процессе проведения ПП дефекты могут привести к появлению отказов при эксплуатации арматуры у потребителя с интенсивностью λ_{zo} . Устранив их ($R=1$), в течение обкаточных испытаний, трубопроводный участок, где имеется арматура, сдается в эксплуатацию.

При абсолютной надежности арматуры она должна отработать гарантийный период t_r без отказов, т.е. $\lambda_r = 0$. В реальной эксплуатации происходит ухудшение технико-экономических показателей арматуры и ее надежности. Поэтому завод должен давать нормативное число отказов и наработку на отказ в гарантийный период, т.е. устанавливает определенное значение убыли вероятности безотказной работы ΔR_r . Фактические значения этих показателей должны быть меньше или равны нормативным значениям, которые установлены техническими условиями на новую или отремонтированную трубную арматуру и внесены в их паспорта (сертификат).

Таким образом, если бы не проводилась заводская и эксплуатационная обкатка, большое число потенциальных отказов интенсивностью λ_3 и λ_{zo} могли возникнуть в начальный период эксплуатации трубной арматуры у потребителя ($t_{II} = t_{zo} + t_{zo}$). При этом следует ожидать, что $\lambda_9 \ll \lambda_3$ и $\lambda_9 \ll \lambda_{тц}$

Известно, что новая или отремонтированная трубная арматура, как и любой элемент, обладает определенным уровнем технического состояния конструктивных элементов и транспортная система в целом, т.е. имеет исходную потенциальную надежность. Значения этих показателей обусловлены конструктивными особенностями формы и размеров, компоновкой, степенью унификации, технологичностью конструкции, видом материала и его состоянием и т.д., а также совершенствованием технологического процесса путем выбора

эффективных вспомогательных материалов, выгодных режимов обработки при строгом соблюдении технологической дисциплины и с использованием достоверных средств контроля качества на всех этапах обработки.

Причём, отремонтированный кран, вентиль не должен существенно отличаться от нового по качеству сборочных единиц (геометрические размеры, допуски на изготовление и ремонт, шероховатость, макрогеометрия, состояние поверхностного слоя, твердость и т.д.), по качеству сборки (зазоры и натяги, деформации, уплотнения и т.д.), по качеству регулировки систем и узлов и технической культуре сборки. Однако, нередко при изготовлении и ремонте трубной арматуры и других элементов не выдерживаются технические условия; несовершенный межоперационный контроль за выполненными работами и другие факторы снижают показатели исходной надёжности. С другой стороны, резкое улучшение качества отдельных технологических операций, в частности отделочных, не даст должного эффекта, если не будет существенно поднят культурный уровень производства отделочных операций. Технологическая наследственность, создаваемая в процессе производства и ремонта формирует показатели в сфере эксплуатации.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования выявили повторяемость дефектов и отказов новых и отремонтированных конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем на стадиях производства и в гарантийный период эксплуатации в зависимости от качества выполнения финишных технологических операций в процессе изготовления или ремонта. Анализ характерных причин позволил выполнить классификацию этих дефектов и отказов.

Оценка весомости технологических операций в получении информации о качестве изготовления или ремонта двигателей позволили выделить три вида работ в технологии производства или ремонта, которые позволяют выявить дефекты и предупредить возможные отказы. Такими операциями являются: входной контроль, обкатка, техническое обслуживание после обкатки. Поскольку понятие отказа предусматривает нарушение работоспособности герметизирующей

способности трубной арматуры при ее эксплуатации, то устранение или не устранение скрытых или явных дефектов при изготовлении или ремонте рассматривается как предупреждение отказов. В этом плане можно воспользоваться схемой (рис.6.2), которая известна в литературе [128, 131]. Если автор данную схему предупреждения отказов нового и отремонтированного изделия рассматривает на примерах двигателей, то мы считаем эти закономерности вполне можно применить к условиям работы трубной арматуры транспортных трубопроводных систем.

Выполненные в течение 1978-2008гг. научно-исследовательские работы, которые касались высокоточных прецизионных пар насосов, двигателей, топливной аппаратуры, приборов оборонной техники и другой разнообразной техники ХТЗ, завод им.Малышева, Московский насосный и Свердловский турбомеханический заводы, Дауговпилсский и Изюмский паровозоремонтные заводы, Севастопольский и Невельский (Сахалин) судоремонтные заводы, Харьковские котельно-механический и арматурный заводы и десятки других предприятий СНГ, в том числе КАМЗ позволили установить следующие отказы новой и отремонтированной трубной арматуры:

- дефекты, вызванные технологической наследственностью производства и ремонта сопрягаемых уплотняющих элементов;
- дефекты, которые унаследованы применяемыми основными и вспомогательными материалами;
- дефекты, неустраненные при проведении входной комплектности и начального технического состояния.

Кроме того, установлены дефекты, которые устраняются:

- дефекты, устраняемые обкаткой на холостом ходу и под нагрузкой;
- дефекты, устраняемые техническим обслуживанием после обкатки под нагрузкой;
- предупрежденные отказы путем проведения приработки, увеличивающей долговечность трубной арматуры.

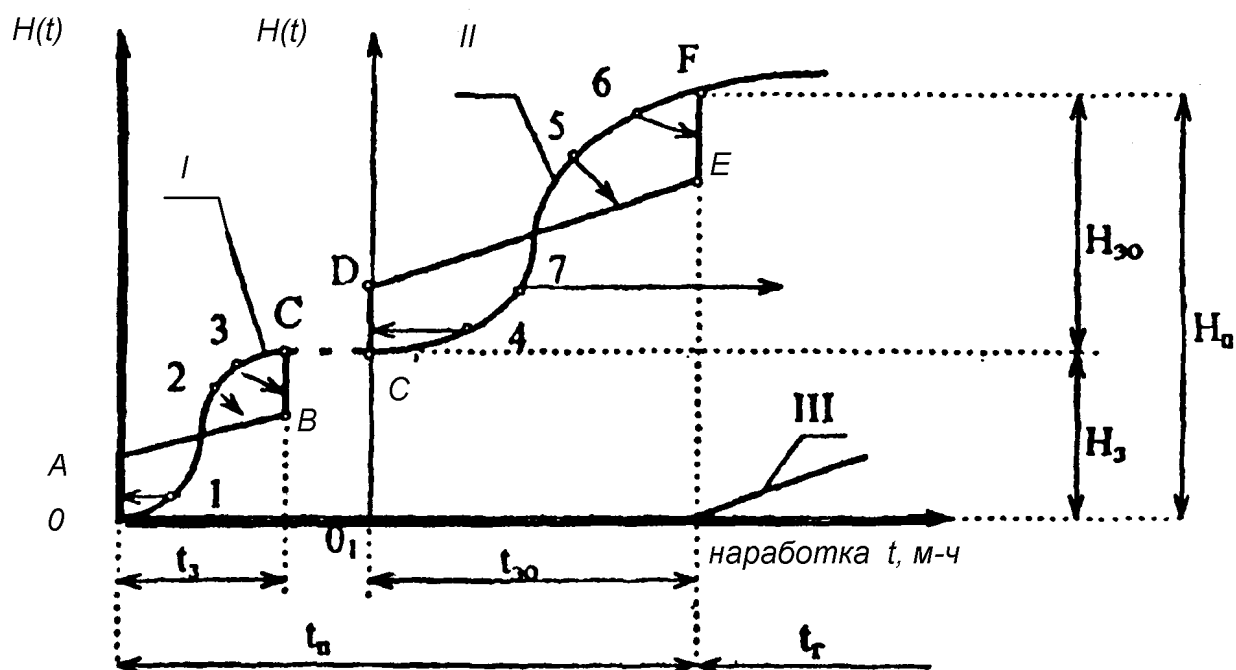


Рис. 6.2 – Схема выявления и устранения дефектов (предупреждение отказов) новой и отремонтированной машины на стадии производства в период приработки:

H_3 - суммарное среднее число возможных отказов арматуры без заводской обкатки (кривая I), H_{30} - суммарное среднее число возможных отказов без эксплуатационной обкатки (кривая II); Кривая III - число отказов у потребителя после проведения приработки

Последовательность выявления дефектов $H(t)$ иллюстрируется диаграммой OABC-CDEF.

Дефекты, устраняемые проведением входного контроля комплектности и начального состояния (OA и CD) представляют собой дефекты притирки, сборки, испытания, время транспортировки и хранения в пути или ожидании реализации. Характерными дефектами данной группы являются нарушение герметизирующей способности, повышенная утечка энергоносителя, деформация или износ, которые увеличивают зазор между сопрягаемыми деталями.

Дефекты, устраняемые обкаткой на холостом ходу и под нагрузкой (AB и DE) обусловлены дефектами изготовления и сборки составных частей и

элементов. Характерными дефектами этой группы являются недостатки термической обработки, скрытые раковины и трещины, недостатки и др.

Дефекты, устраняемые техническим обслуживанием после обкатки под нагрузкой (BC и EF) связаны с проверкой и выводением параметров запорной арматуры до уровня, требуемого ТУ путем регулировочных работ, подгонки изделия, устранения утечки энергоносителя и др.

Некоторые результаты экспериментальных исследований процесса приработки прецизионных пар трубной арматуры, включающие заводскую и эксплуатационную обкатку изложены на примере пробковых кранов типа Кр-5Б. Изучению была подвергнута трубная арматура, которая имеется на трубопроводах нагревательных печей кузнечно-механического цеха ОАО «ХТЗ». Корпус крана и гайка сальника изготовлены из цинкового сплава ЦАМ-4-1, а пробка и втулка из латуни ЛС59-1. Утечка энергоносителя происходит из-за износов, характеризующихся различными видами отказов.

Для отказов I группы сложности характерными являются газа и течи жидкости. Не устранив эти отказы при проведении ПП, дальнейшая эксплуатация трубной арматуры может дать более сложные отказы, такие как задир уплотнительных поверхностей, утечка энергоносителя и др.

Для отказов II группы сложности характерными являются нарушения работоспособности узлов, сборочных единиц, таких как предохранительных клапанов, приборов учета энергоносителя и др, возникновение которых можно предотвратить, вводя дополнительные контрольно-регулирующие работы ПП.

Для отказов III группы сложности, устранение которых является трудоемким и дорогостоящим, такие как полное отсутствие перекрытия транспортируемого энергоносителя, обрыв шпинделя от пробки или шара; трудности производства перекрытия или регулировки в системе; деформация прецизионных пар и др. без ПП проявляются, как правило, при больших наработках порядка после 1-2 годичной их эксплуатации. На все эти отказы можно предупредить проведением определенных технических осмотрах и

ПП. Нарботку до появления этих отказов можно сместить в сторону удлинения сроков безопасной и надежной эксплуатации арматуры.

Анализ причин отказов по данным Харьковского энергоремонтного предприятия показал, что часть из них (I группы сложности – 10%, II группы сложности – 20%, III группы сложности – 70%), возникающих при различных наработках трубной арматуры, можно выявить и устранить при входном контроле на этапах заводских и эксплуатационных испытаний. Значительное число отказов, которые дают эксплуатационнику наибольшие потери при их эксплуатации, можно предотвратить проведением эксплуатационной обкатки на холостом ходу и под нагрузкой, к примеру пробковых кранов.

При этом возникают разнообразные причинно-следственные связи как формы проявления всеобщей универсальной связи в природе. Накопление количественных воздействий приводит к изменению качественных показателей, которые происходят во время хранения и эксплуатации. Современная наука указывает, что качественные и количественные показатели можно ускорять или замедлять в пределах допустимых дефектов.

Раскрытие связей физических процессов, которые приводят к изменению начальных показателей качества энерготранспортных трубопроводных систем и их элементов, возможно на основе функциональных зависимостей с привлечением теории вероятностей и теории случайных процессов, методов оптимизации, теории информации и математической логики и других разделов математики [96]. Особый интерес представляют теоретические основы науки о надежности являются результаты исследований естественных наук, изучающие физико-химические процессы старения и изменения свойств материалов, из которых изготовлено оборудование и системы или которые необходимы для их функционирования [157, 163, 165].

Задача науки о надежности - дать методы и способы расчета и обеспечения технологическими способами повышения эксплуатационной надежности трубопроводной арматуры и систем транспортирования

энергоносителя к потребителю. В настоящее время в инженерной практике во многих случаях не применяются методы расчета на надежность и долговечность таких элементов трубопроводных элементов как трубная арматура, а имеются лишь отдельные виды расчетов, представляющие разрозненные этапы комплексного решения.

Такое положение объясняется многими причинами: сложностью проблемы расчета, большим объемом расчетов. Каждая транспортная система имеет большое количество элементов с потенциальной возможностью отказа по различным причинам, необходимостью объединить разные по физической сути и характеристике процесса эксплуатации.

Требования, которыми должен удовлетворять любой как новый, так и отремонтированный элемент транспортной трубопроводной системы должен соответствовать нормативно-технической документации, научно-обоснованным рекомендациям [1,3]. Для условий эксплуатации трубный элемент практически важным является надежность обеспечения герметичности во времени (рис.6.3). и, наконец, для этапа применения по назначению существенным является понятие функционально-технического состояния правильной эксплуатации трубной арматуры.

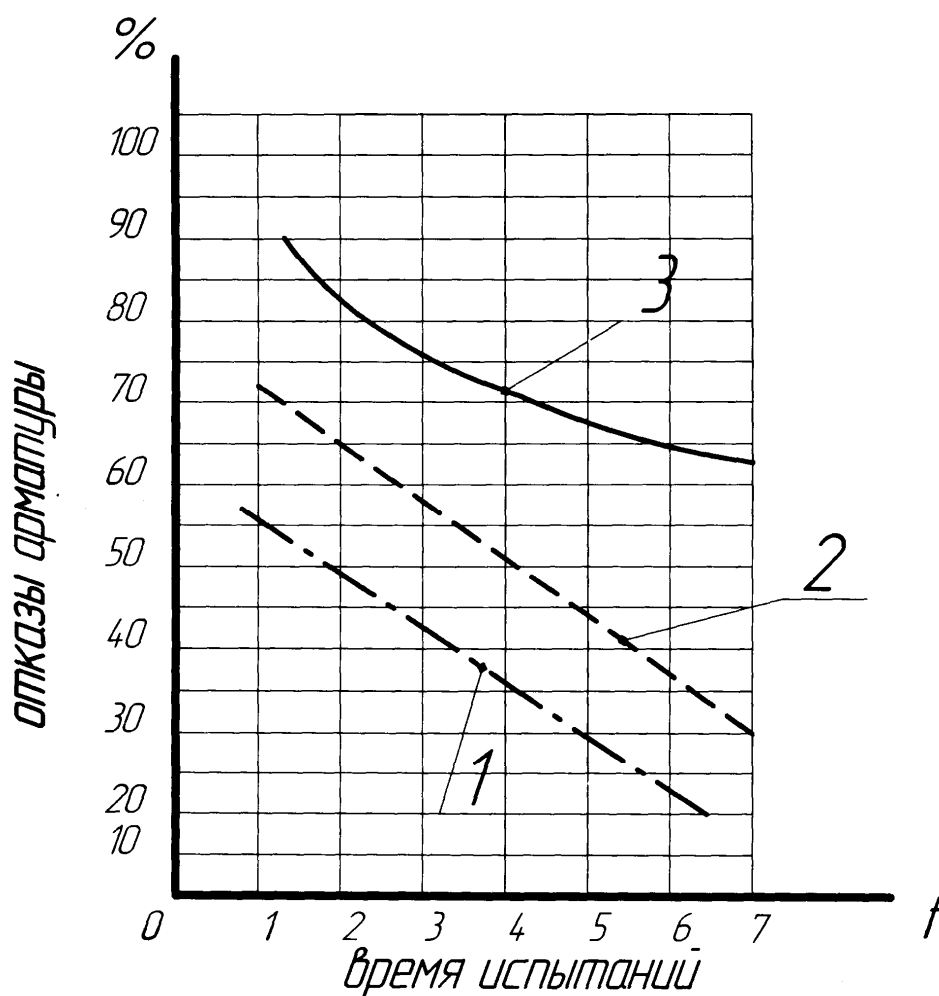


Рис.6.3 – Количество выявляемых дефектов при испытаниях:

I – дефекты первой группы; II – дефекты второй группы и III – дефекты третьей группы

Исследования дают основание утверждать, что из-за в ряде случаев научно-обоснованных регулярных и экономичных методов повышения надежности трубной арматуры на практике широко используются неформальные рекомендации, облегчающие диагностирование конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем. Если предсказание эксплуатационной надежности трубной арматуры на этапе создания и изготовления в настоящее время удастся оценить с довольно высокой точностью, то предсказания технического состояния во времени требует проведение довольно объемных исследований и уточнений.

Решение задач прогнозирования технического состояния конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем весьма важно, в частности, для организации технического их обслуживания по срокам или по ресурсу.

Теория и практика прогнозирования и планирования сейчас характеризуется существенным развитием их форм и методов. Для изделий транспортных трубных систем, особенно высокоточных, это сводится к совершенствованию параметрического прогнозирования. Важно на всех этапах технологического процесса регулировать и оценивать те факторы, которые в процессе эксплуатации изделия способны снизить показатели надежности. Прогнозирование - отдельная и сложная задача, требующая специального решения. Исследования показали, что оценивать точность прогноза можно различными методами, лучшим из которых является сравнение прогноза с фактическими результатами технического состояния арматуры. Неточности прогноза бывают связаны, прежде всего, с недостаточной информацией о случайных процессах, неполнотой или неточностью данных.

При условии эксплуатации трубной арматуры неточность прогноза чревато нарушением поставки энергоносителя потребителю или непредвидимость сроков и объемов восстановительных работ по обеспечению надежности их эксплуатации. Начальные значения параметров, определяемые на первом этапе, фиксируются с помощью непосредственных измерений или расчетов на разности входных и выходных количеств транспортируемого энергоносителя.

Преимуществом прогноза является возможность установления времени наступления отказа, т. е. такого события, когда рассматриваемый параметр выходит за пределы поля допуска. Таким параметром может явиться геометрическая точность, определенный уровень напряжений, износ и пр. Представляется возможным также предписать определенные начальные значения параметров высокоточного изделия, с тем чтобы они сохранялись

более длительное время. Если имеются расчетные зависимости, можно установить первоначальную форму поверхностей сопряжения, чтобы в процессе изнашивания эффект от износа значительно меньше сказывался на герметичности изделия. Однако при этом должны учитываться возможные регулировки узлов, проводимые в определенный промежуток времени, а также явления, связанные с разрегулированием узлов. В итоге можно с помощью прогнозирования улучшить эксплуатационные показатели трубной арматуры.

6.2. Прогнозирование функционально-технического состояния элементов транспортных трубопроводных систем

Техническая диагностика – это отрасль научно-технических знаний, сущность которой составляют теория, методы и средства обнаружения и поиска дефектов объектов технической природы [161], в частности, элементов транспортных трубопроводных систем. Применительно к трубной арматуре под дефектом следует понимать любое нарушение надежности эксплуатации, связанное, прежде всего, в обеспечении герметичности перекрытия транспортного энергоносителя по транспортно-трубопроводной системе [1]. Теория технической диагностики гласит, что обнаружение дефекта есть установление факта его наличия или отсутствия в объекте. Поиск дефекта трубной арматуры при ее эксплуатации заключается в указании места и причины нарушения ее герметизирующей способности.

В соответствии с нормативно-технической документацией для газовых эксплуатационных предприятий Украины [92], учитывая нынешнюю ситуацию в газоэнергетике, вывод из эксплуатации элемента транспортной трубопроводной системы допускается производить по мере необходимости.

Изучение работы газовых предприятий ОАО «Харьковгоргаз», ОАО «Харьковгаз» и ОАО «Трансгаз» Харьковщины показало, что каждая газорегулировочная станция (ГРС) и газораспределительный пункт (ГРП)

имеют различную арматуру, а сроки ее эксплуатации в большинстве случаев устанавливаются индивидуально.

При плановом ремонте элементов транспортных трубопроводных систем проводится всесторонняя их проверка. Для задвижек характерны следующие неисправности срабатывание уплотнительных поверхностей на дисках и корпусе: через закрытую задвижку проходит при затрудненном закрытии задвижки утечка энергоносителя, что можно при эксплуатации устранить подтягиванием нажимной буксы; образование трещин буксы сальника, что происходит при затяжке сальника с перекосом или при попытке устранить утечку через сальник без его перенабивки. Чтобы устранить неисправность, необходимо немедленно перекрыть задвижку и заменить нажимную буксу.

В трубной арматуре, у которой уплотняющей частью являются металлические прецизионные пары, в процессе эксплуатации, происходит износ трущихся поверхностей под влиянием технологической наследственности. Предотвратить или свести до минимума потери транспортируемого энергоносителя целесообразно добиваться путем учета всех факторов, влияющих на функционально-техническое состояние элементов трубной арматуры и других элементов транспортных систем. Теоретически срок выгодной эксплуатации элементов транспортных энергетических систем можно определить путем прогнозирования функционально-технического состояния на этапах их эксплуатации [1, 2, 5, 10, 127]:

- при линейной аппроксимации – поиск t путем решения квадратного уравнения (вариант 1);

- при квадратичной, кубической показательной функциях моделирования транспортирования энергоносителя системой – путем решения уравнений методом интерпретаций (вариант 2).

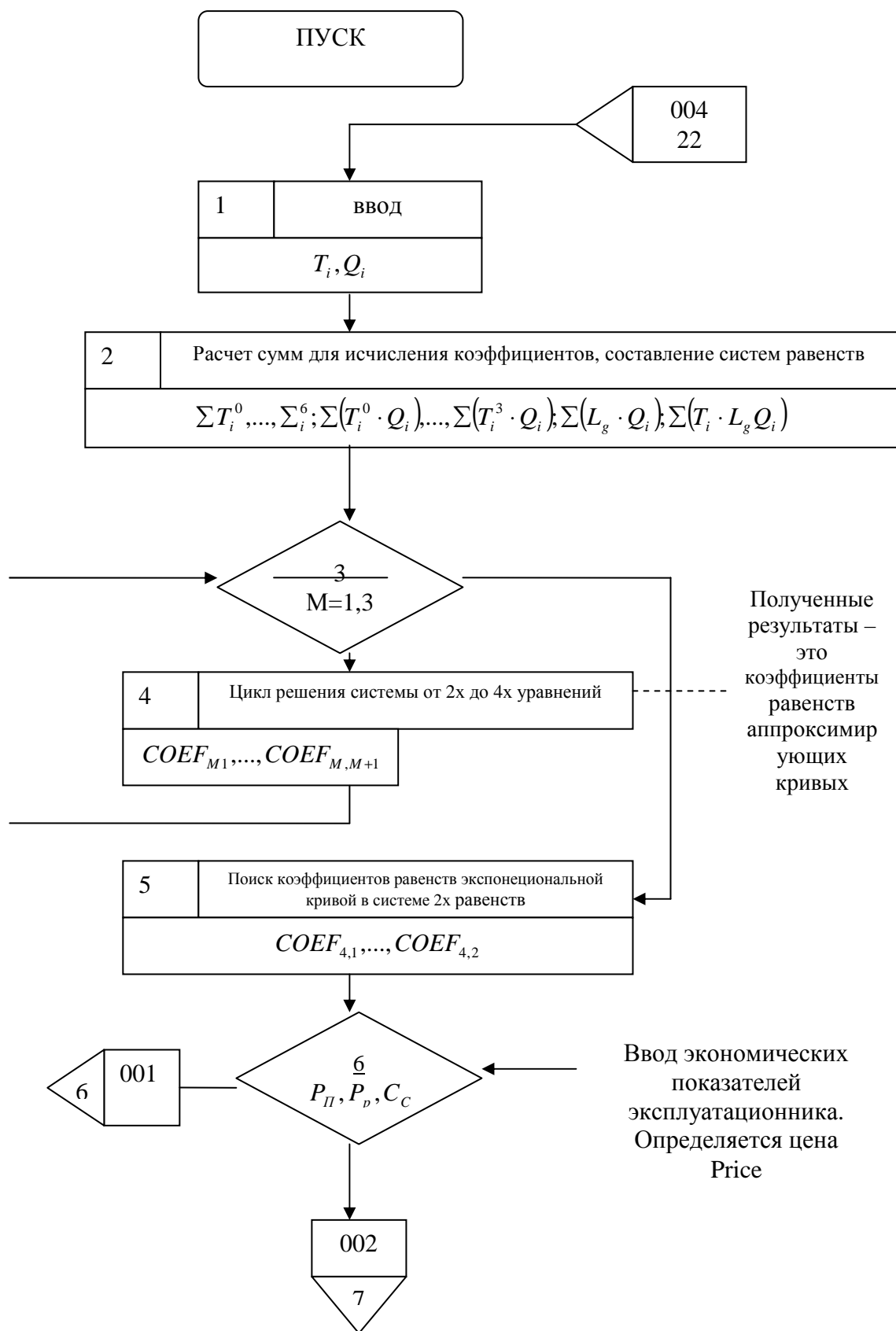
Вариант 2, по которому научно обосновались межремонтный срок эксплуатации запорной арматуры, которая оборудована трубопроводная

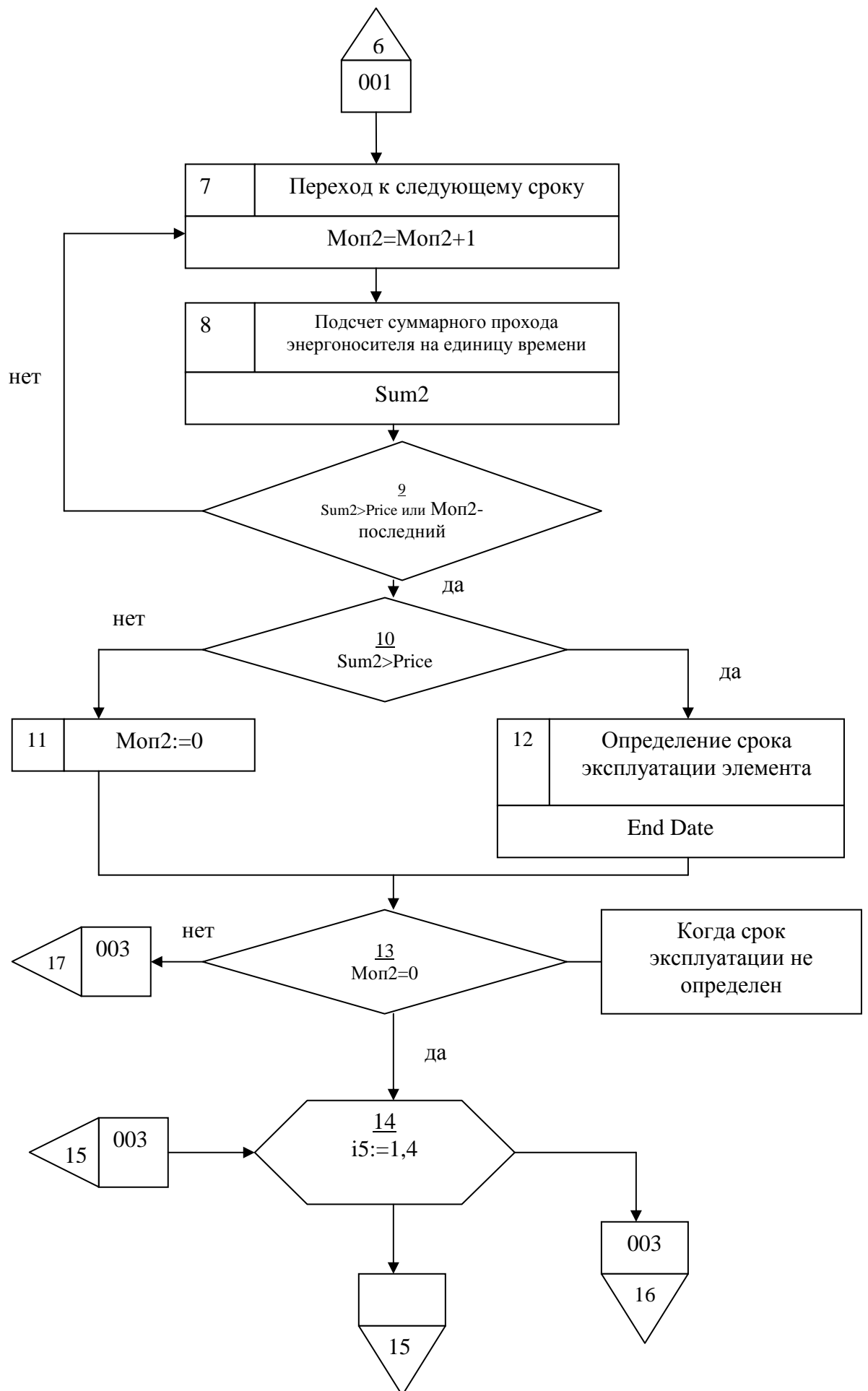
газовая система – более удобный и точный для прогнозирования надежной безопасной продолжительности с использованием компьютерной техники (рис.6.4).

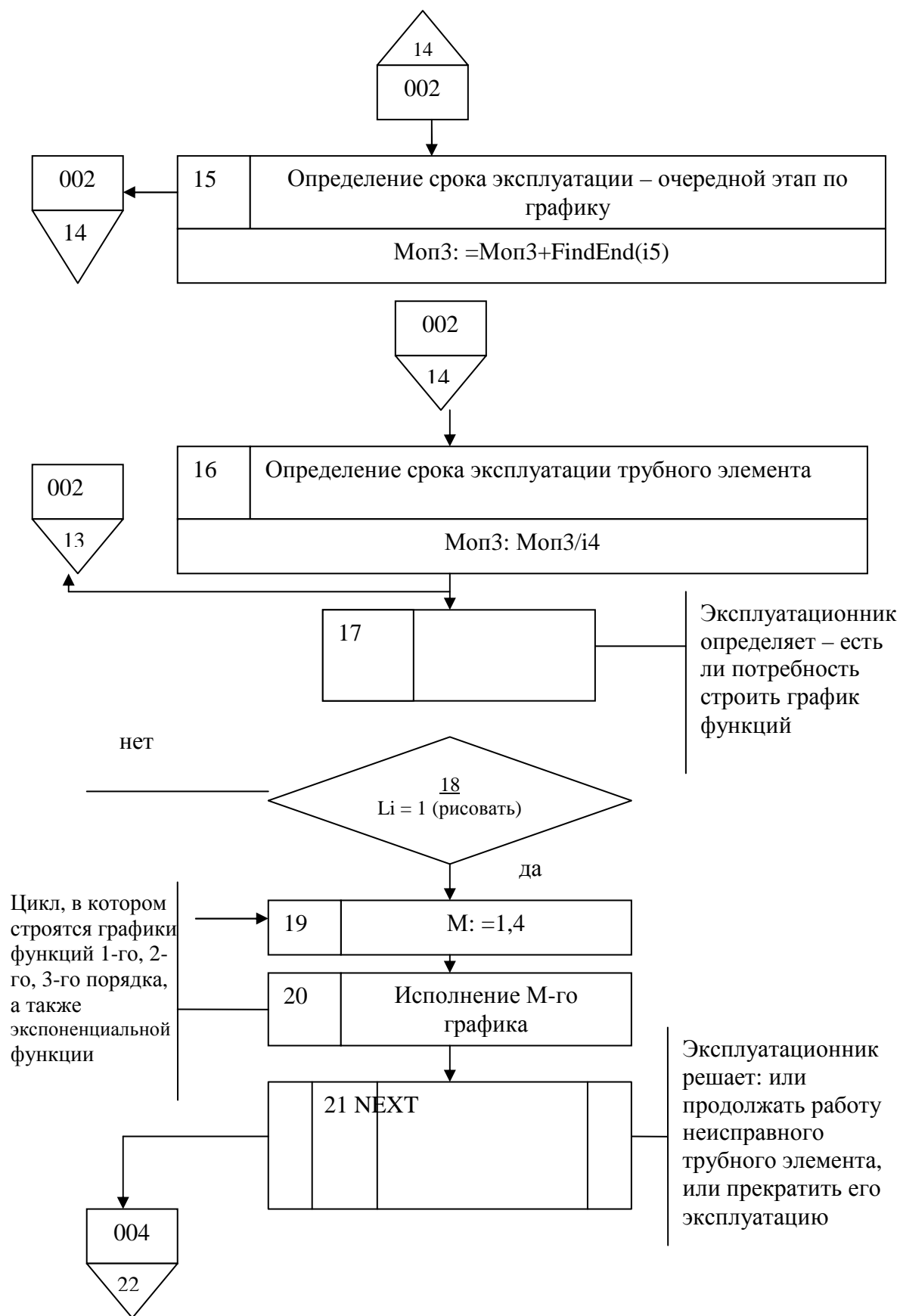
Организацию функционально-технического состояния элементов транспортных трубопроводных систем изложим на примере трубной арматуры. При этом исходим из того, что определены (рис.6.5):

- этапы и характерные периоды надежной и безопасной эксплуатации каждого элемента системы;
- понятия герметизирующей работоспособности по отношению разницы прохода энергоносителя на входе и выходе;
- алгоритм диагностирования;
- средства и методы устранения неисправностей и др.

Для определения выгодного срока эксплуатации запорной трубной арматуры требуется в какое-то время рассчитать разницу на входе ($Q_{вх}$) и выходе ($Q_{вых}$) газа или другого энергоносителя транспортной трубопроводной системе [2,3,5]:







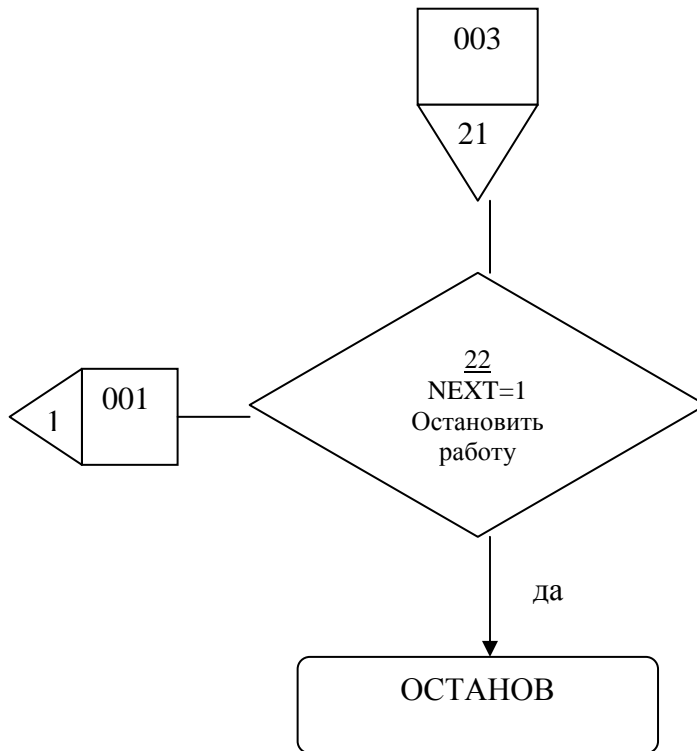


Рис.6.4 – Укрупненный алгоритм функционально-технического состояния трубного элемента транспортных трубопроводных систем вследствие износа запорной части арматуры

$$B = (Q_{\text{ex}} t - \sum_{i=1}^m Q_i \Delta t_i) \cdot C_B, \quad (6.1)$$

где Q_{ex} - количество энергоносителя, м³/сутки;

t_i - продолжительность непрерывной эксплуатации транспортной энергосистемы, сут.;

Q_i - количество энергоносителя на выходе в измеряемое время Δt_i , м³/сут.;

m - число засечек измерений, принятых при измерении – определении утечек энергоносителя;

C_B - себестоимость энергоносителя, грн/м³.

Известно уравнение, когда B приобретает вид:

$$B = R_H + R_M \quad (6.2)$$

когда выходная продолжительность эксплуатации трубопроводного агрегата будут рациональными. В алгоритме (рис.6.5) эта ситуация реализована следующим образом:

- 1 продолжительность нормальной эксплуатации элемента трубопроводной системы при условии $(t < n)$, когда это условие не выполняется, то расчет прекращается;

- 2 в другом случае, когда при эксплуатации создается ситуация при $(t > n)$, формула приобретает вид:

$$B = \left(Q_{\text{ex}} t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - \int_n^t f(dx) \right) \cdot C_B, \quad (6.3)$$

где $f(x)$ - обратная аппроксимационная функция.

В дальнейшем все расчеты производятся по формуле (6.3), то есть аппроксимационных функций: линейной, квадратной, кубической параболы, степенной, которые изображены на рис.6.6 при условии $(t > n)$.

Для линейной аппроксимации имеем:

$$\int_n^t f(x) dx = \int_n^t (a_0 + a_1 x) dx = \left(a_0 x + a_1 \frac{x^2}{2} \right) \Big|_{x=n}^{x=t} = a_0 t + a_1 \frac{t^2}{2} - a_0 n - a_1 \frac{n^2}{2} \quad (6.4)$$

При решении задачи t с учетом формул (6.3,6.4), получаем квадратическое уравнение:

$$\begin{aligned} & \left(Q_{\text{ex}} t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_0 t - a_1 \frac{t^2}{2} + a_0 n + a_1 \frac{n^2}{2} \right) C_B = R_H + R_M \Leftrightarrow \\ & \Leftrightarrow \left[a_1 \frac{t^2}{2} + (a_0 - Q_{\text{ex}}) t + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_1 \frac{n^2}{2} - a_0 n \right] C_B + R_H + R_M = 0 \end{aligned} \quad (6.5)$$

Из этого следует

$$t_{1,2} = \frac{b \pm \sqrt{D}}{2a},$$

где $b = (a_0 - Q_{\text{ex}})C_B$;

$$D = b^2 - 4ac;$$

$$a = \left(\frac{a_1}{2}\right)C_B;$$

$$C = \left(\sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - \frac{a_1^2}{2} - a_0 n\right)C_B + R_H + R_M.$$

Для квадратической аппроксимации (рис.6.6, б) имеем:

$$\begin{aligned} \int_n^t f(x)dx &= \int_n^t (a_0 + a_1 x + a_2 x^2)dx = a_0 x + a_1 \frac{x^2}{2} + a_2 \frac{x^3}{3} \Big|_{x=n}^{x=t} = \\ &= a_0 t + a_1 \frac{t^2}{2} + a_2 \frac{t^3}{3} - a_0 n - a_1 \frac{n^2}{2} - a_2 \frac{n^3}{3} \end{aligned} \quad (6.6)$$

В итоге поиска t с учетом формул (6.3 и 6.6) получаем кубическое уравнение:

$$\begin{aligned} &\left(Q_{\text{ex}} t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_0 t - a_1 \frac{t^2}{2} - a_2 \frac{t^3}{3} + a_0 n + a_1 \frac{n^2}{2} + a_2 \frac{n^3}{3} \right) C_{\text{блх}} = \\ R_H + R_M &\leftrightarrow \left[a_1 \frac{t^2}{2} + a_2 t^3 + (a_0 - Q_{\text{ex}})t + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_2 \frac{n^3}{3} - a_1 \frac{n^2}{2} - \right] C_B + \\ &+ R_H + R_M = 0 \end{aligned} \quad (6.7)$$

Для кубической аппроксимации (рис.6.6, в) имеем:

$$\begin{aligned} \int_n^t f(x)dx &= \int_n^t (a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3)dx = a_0 x + a_1 \frac{x^2}{2} + a_2 \frac{x^3}{3} + \\ &+ a_3 \frac{x^4}{4} \Big|_{x=n}^{x=t} = a_0 t + a_1 \frac{t^2}{2} + a_2 \frac{t^3}{3} + a_3 \frac{t^4}{4} - a_0 n - a_1 \frac{n^2}{2} - a_2 \frac{n^3}{3} - a_3 \frac{n^4}{4} \end{aligned} \quad (6.8)$$

Для поиска t с учетом формул (6.3) и (6.8) получаем уравнение четвертой степени:

$$\left(Q_{\text{ex}} t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_0 t - a_1 \frac{t^2}{2} - a_2 \frac{t^3}{3} - a_3 \frac{t^4}{4} + a_0 n + a_1 \frac{n^2}{2} + a_2 \frac{n^3}{3} + a_3 \frac{n^4}{4} \right) C_B + R_H + R_M = 0. \quad (6.9)$$

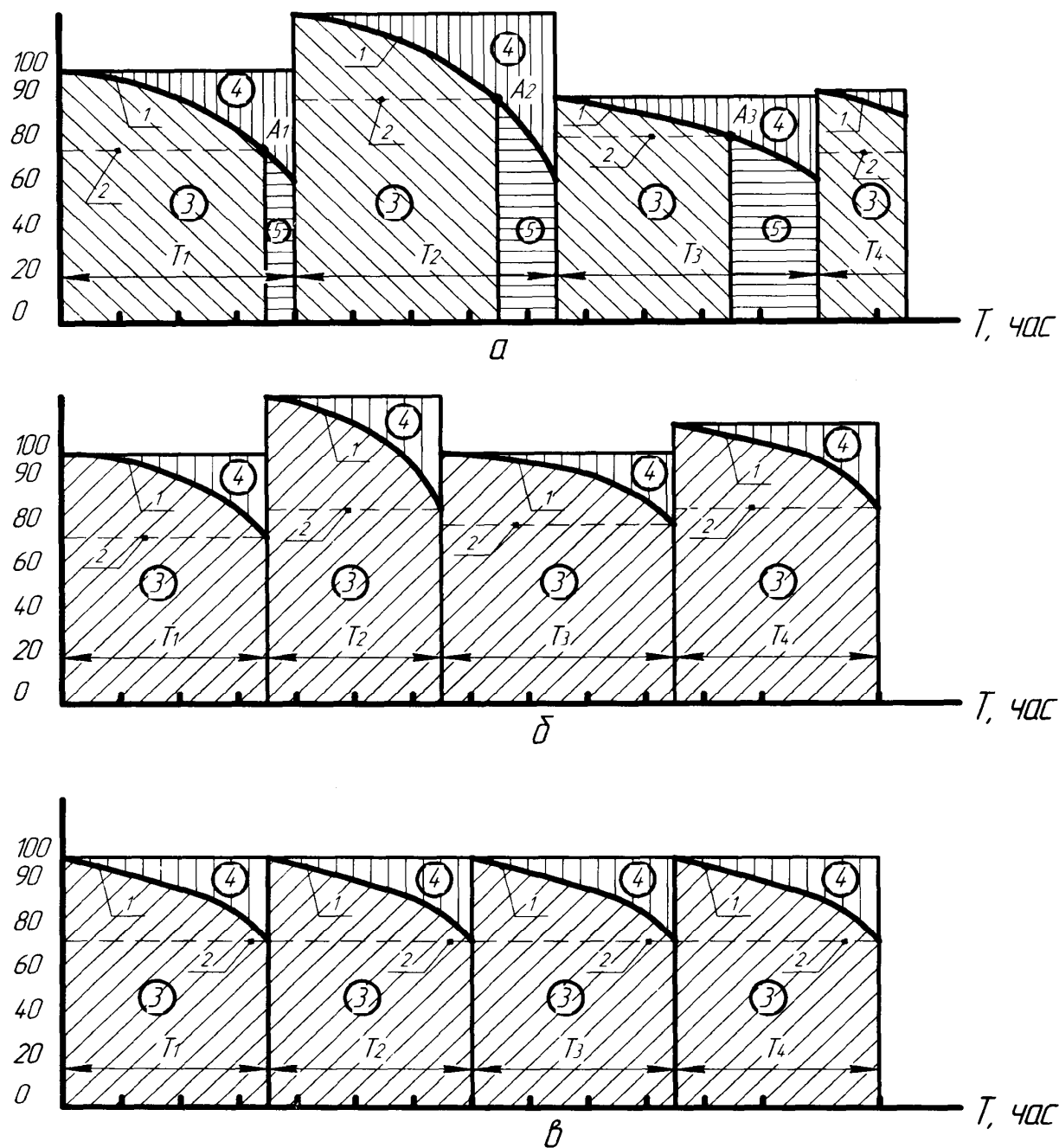


Рис.6.5 – Зависимости утечки энергоносителя от продолжительности эксплуатации трубной арматуры:

а- до проведения и *б, в*- после проведения оценки функционального технического состояния *Q* - транспортировки энергоносителя, %;

T - продолжительность эксплуатации арматуры; мес.;

1-кривая снижения подачи энергоносителя за счет утечки; 2 - допуск рациональной утечки транспортируемого энергоносителя; 3 - поле транспортируемого энергоносителя за межремонтный период T_i , мес.;

4 - поле характеризующее количество недоданного энергоносителя потребителю за счет его утечки при транспортировании

$$\cdot C_{\text{ex}} = R_H + R_M \leftrightarrow \begin{bmatrix} a_1 \frac{t^2}{2} + a_2 \frac{t^3}{3} + a_3 \frac{t^4}{4} + (a_0 - Q_{\text{ex}})t + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_3 \frac{n^4}{4} - a_2 \frac{n^3}{3} - \\ a_1 \frac{n^2}{2} - a_0 n \end{bmatrix} C_B +$$

$$+ R_H + R_M = 0$$

При аппроксимации показателя функции (рис.6.6, г) имеем:

$$\int_n^t f(x) dx = \int_n^t A e^{a_1 x} dx = A \left| a_1 e^{a_1 x} \right|_{x=n}^{x=t} = A \left| a_1 (e^{a_1 t} - e^{a_1 n}) \right| \quad (6.10)$$

Для поиска t с учетом формул (6.3) и (6.10) получаем показательное уравнение:

$$Q_{\text{ex}} t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - A / a_1 (e^{a_1 t} - e^{a_1 n}) C_B = R_H + R_M \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow \left(A / a_1 e^{a_1 t} - Q_{\text{ex}} t + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - A / a_1 e^{a_1 n} \right) C_B + R_H + R_M = 0 \quad (6.11)$$

Решения (6.7), (6.9), (6.11) целесообразно разрешать приближенным итерационным методом [10,113,117].

Разрешение проблемы производим в два этапа:

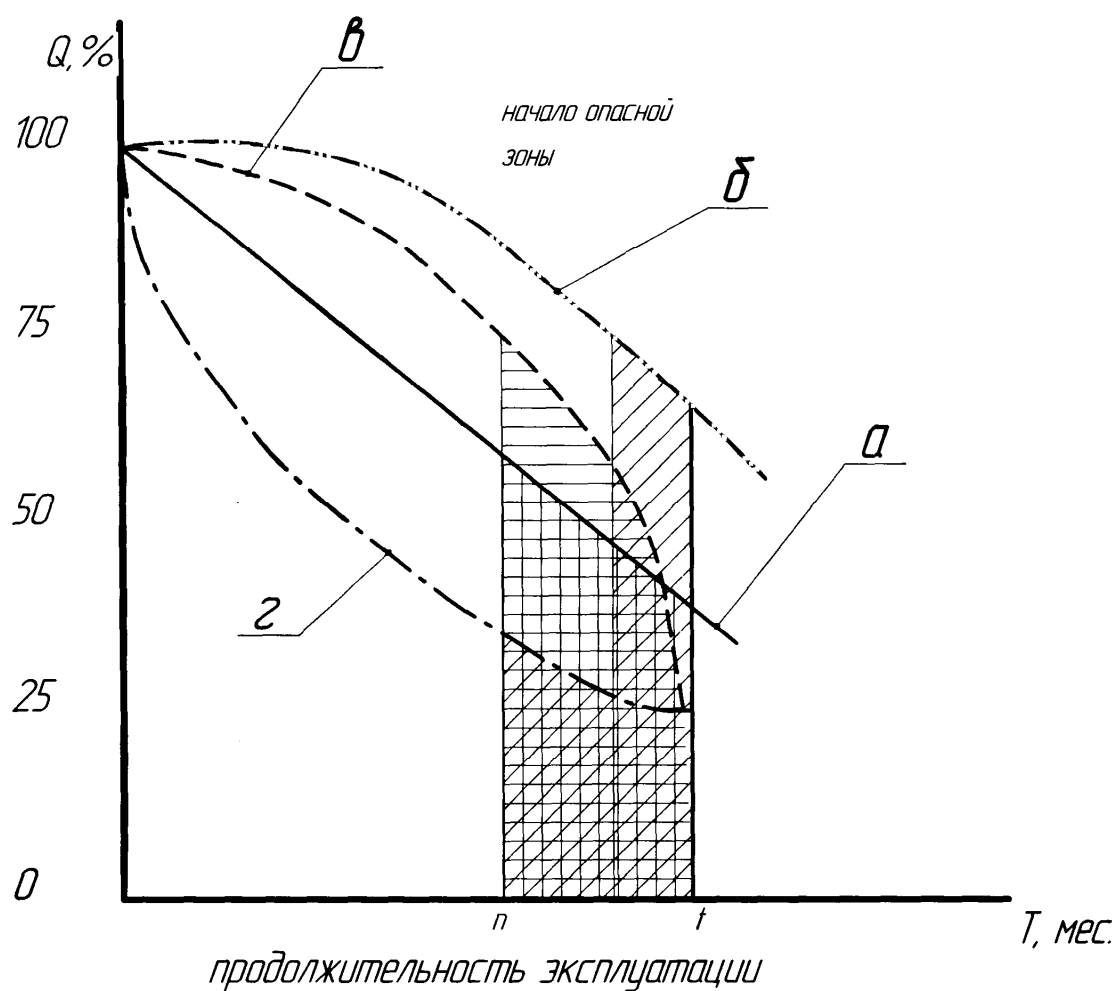
- обозначаем через $\Phi(t)$ часть соответствующего уравнения. На первом этапе находим начальное приближение, для чего находим знак функции $\Phi(t)$ в точке « n ».

Затем какими-то путями « n » находим значение функции $\Phi(t)$ в точке $h = n + jh, j = 1, 2, \dots$ до тех пор, пока не будет достигнуто условие:

$$\text{sign}(\Phi t) = -\text{sign} \Phi(n) \quad (6.12)$$

За начальное приближение примем значение:

$$t_0 = t_1 - \frac{h}{2}.$$



$$B = \left[Q_{\text{ex}} t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - \int_n^t f(x) dx \right] C_B = R_H + R_M$$

$$a) Q = a_0 t a_1 t$$

$$б) Q = a_0 t a_1 t + a_2 t^2$$

$$в) Q = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$$

$$г) Q = A e^{a_1 t}$$

Рис.6.6 – график прогнозирования выгодного срока эксплуатации элементов транспортных трубопроводных систем:

а – линейная; б – квадратная; в – кубическая аппроксимации функции
собственно г – показательная аппроксимационная функция

На втором этапе будем уточнять разрешение проблемы методом Ньютона [10,42] по формуле:

$$t^{(m+1)} = t^{(m)} - \Phi(t^{(m)}) / \Phi'(t^{(m)}), \Phi'(t^{(m)}) \neq 0, m = 1, 2, \dots \quad (6.13)$$

Для сравнения (6.7) формула (6.13) принимает вид:

$$t^{(m+1)} = t^{(m)} - \left\{ a_2 \frac{t^{(m)3}}{3} + a_1 \frac{t^{(m)2}}{2} + (a_0 - Q_{ex}) t^{(m)} + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_1 - a_2 \frac{n^3}{3} - a_1 \frac{n^2}{2} - a_0 n \right\} \times \\ \times C_B + R_H + R_M \} / [a_2 t^{(m)2} + a_1 t^{(m)} + a_0 - Q_{ex}] C_n, m = 0, 1 \quad (6.14)$$

Для сравнения (6.9) формула (6.13) принимает вид:

$$t^{(m+1)} = t^{(m)} - \left\{ a_3 \frac{t^{(m)4}}{4} + a_2 \frac{t^{(m)3}}{3} + a_1 \frac{t^{(m)2}}{2} + (a_0 - Q_{ex}) t^{(m)} + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_1 - a_3 \frac{n^4}{4} - a_2 \frac{n^3}{3} - a_1 \frac{n^2}{2} - a_0 n \right\} \times \\ \times C_B + R_H + R_M \} / [a_3 t^{(m)3} + a_2 t^{(m)2} + a_1 t^{(m)} + a_0 - Q_{ex}] C_B, m = 0, 1 \quad (6.15)$$

Для решения (6.9) и (6.13) формула приобретает вид:

$$t^{(m+1)} = t^{(m)} - \left[(A/a_1 e^{a_1 t^{(m)}} - Q_{ex} t^{(m)} + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_1 - A/a_1 e^{a_1 n}) C_B + R_H + R_M \right] / \\ / [A e^{a_1 t^{(m)}} - Q_{ex}] C_n, m = 0, 1 \quad (6.16)$$

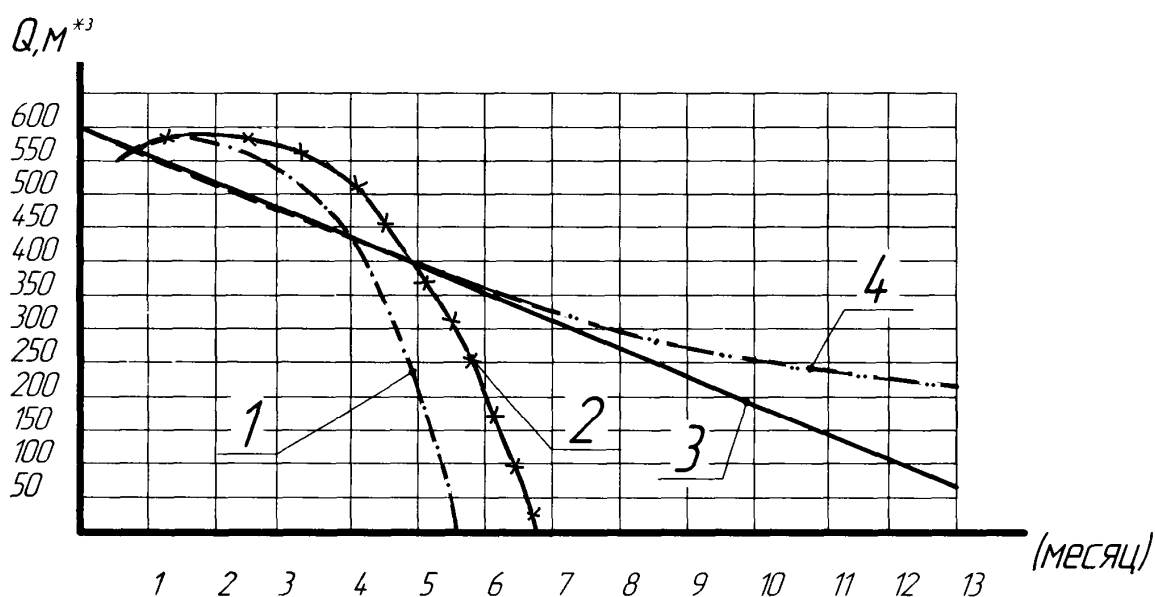
Таким образом, функционально-техническое состояние – это прогнозирование снижения нерациональной утечки транспортируемого энергоносителя, которая происходит в результате износа прецизионных пар трубной арматуры, установление предельного срока эксплуатации кранов или вентилей транспортных трубопроводных систем целесообразно определять по-элементно, что рекомендуется использовать (рис.6.7):

- при линейной аппроксимации – путем поиска t путем решения квадратического уравнения;

- при квадратической, кубической, показательной функциях графическими методами рациональным способом управления

функционально-техническим состоянием транспортных трубопроводных систем и их конструктивных элементов – путем решения уравнений (6.7), (6.9), (9.16) методом итераций.

Следует указать, что вариант 2, который характеризует научно-обоснованные межремонтные сроки эксплуатации элементов транспортных трубопроводных систем является более точным и удобным при использовании его для прогнозирования функционально-технического состояния, а именно сроков проведения трубной арматуры из эксплуатации для проведения капитального ремонта.



Графики аппроксимации функций $Q = f(T)$ для пробкового крана №10	Ошибка (допуск), %	T
$Q = -0.7245 \cdot T + 1224.8648$	0,1	97,8
$Q = -0.0498 \cdot T^2 + 2.52T + 1130.7200$	0,0	108,0
$Q = -0.0006 \cdot T^3 + 0.0401 \cdot T^2 - 1.5352 \cdot T + 1175.9160$	0,0	107,0
$Q = 1234.6756 \cdot e^{-0.0026T}$	0,1	107,0

Рис.6.7 – Пример графического определения выгодного продолжительности эксплуатации трубного элемента

Выгодный срок эксплуатации $U = -7.54\%$ – месяц крана притертого:

1 – алмазной смесью; 2 – карбидобаровой смесью; 3 – электрокарундовой смесью; 4 – карбидокремневой смесью

6.3. Экспериментальные исследования, связанные с установлением влияния технологической наследственности прецизионных пар на надежность и долговечность эксплуатации трубной арматуры

Проведение экспериментальных исследований на действующих объектах по утечке энергоносителя из-за нарушения герметизирующей способности трубной арматуры связаны с большими трудностями и в условиях эксплуатации практически не проводятся. Такое положение с наличием достоверных экспериментальных данных об износах прецизионных пар арматуры позволяет оценить герметизирующее их состояние в очень узкой области режимов эксплуатации во времени. Для расшивки «узких» мест и для осуществления поставленной цели нами была принята следующая методика проведения экспериментальных исследований: в первой серии опытов устанавливалась зависимость скорости износа металла уплотнения от применяемого технического материала с учетом известных методов (рис.6.8), а во второй серии - оценивалась зависимость утечки энергоносителя от технологической наследственности, которая унаследуется на притирочных операциях при производстве и ремонте прецизионных пар трубной арматуры (рис.6.9).

Организацию функционально-технического состояния элементов транспортных трубопроводных систем изложим применительно к трубной арматуре, используя научные разработки И.Т. Прокопчука (Киевский национальный Университет строительства и архитектуры) исходили из того, что определено:

- этапы и характерные периоды надежной и безопасной эксплуатации каждого элемента системы;
- понятия герметизирующей работоспособности по отношению разницы прохода энергоносителя на входе и выходе;
- алгоритм диагностирования;
- средства и методы устранения неисправностей и др.

Для определения выгодного срока эксплуатации запорной трубной арматуры требуется в какое-то время рассчитать разницу на входе ($Q_{вх}$) и выходе ($Q_{вых}$) газа или другого энергоносителя транспортной трубопроводной системы [2,3,5].

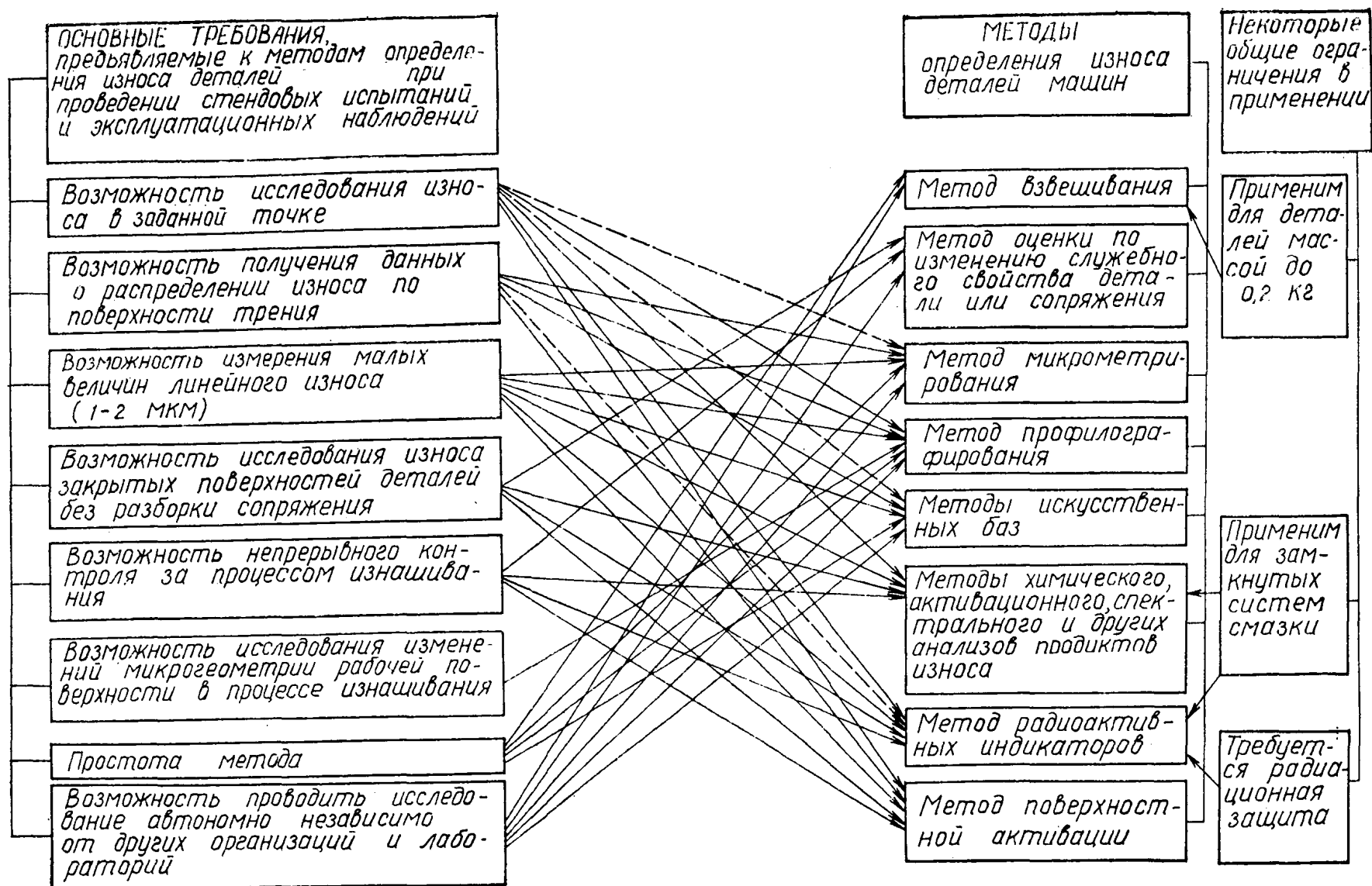


Рис.6.8 – Методы определения износа и их возможности при проведении стендовых испытаний и эксплуатационных наблюдений

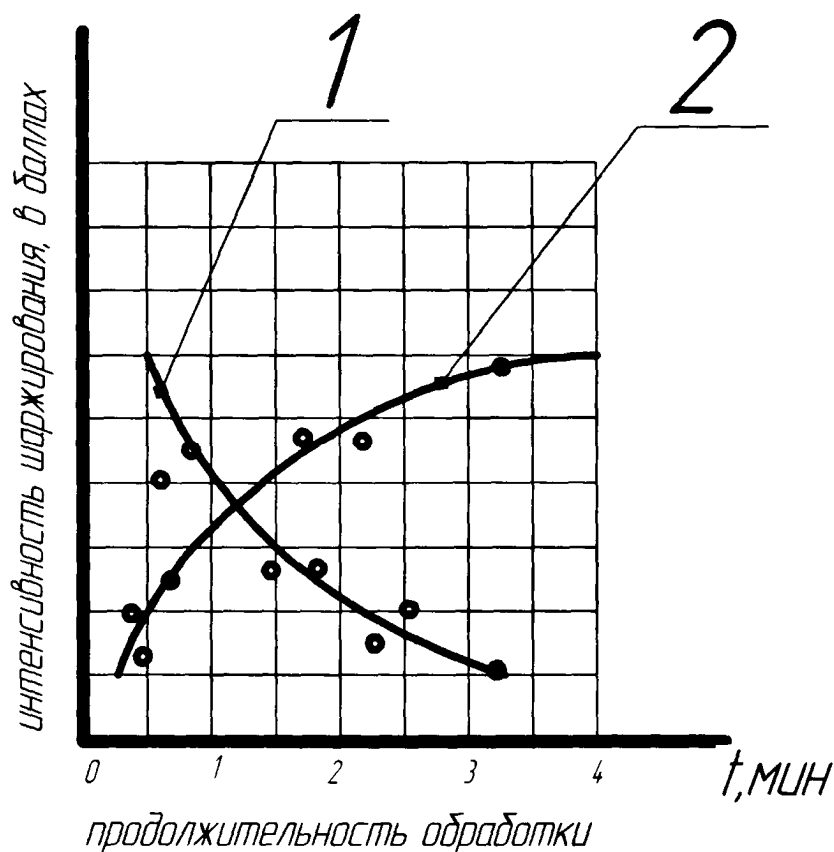


Рис.6.9 – Зависимость интенсивности шаржирования образцов абразивными зёрнами (усредненные данные) от твердости металла:
1 – сталь; 2 – латунь

Первая серия опытов проводилась на лабораторной машине «Миндта», где были приняты постоянные режимы притирки. В качестве образцов использовались металлические пластины - меры твердости, изготовленные на Ивановском заводе испытательных приборов: стальные плитки твердостью HRC25, HRC45 и латунные - HRC25. Притирка производилась абразивными смесями на основе AM14, KBM14, 1AM14, 2AM14, 3AM14, 64CM14 и 63CM14. Измерение интенсивности износа поверхности в процессе притирки во времени оценивалась весовым методом с точностью 0,2мг. По полученным экспериментальным данным с использованием метода наименьших квадратов [185], на первом этапе первой серии экспериментальных исследований производилось установление влияния

материала трущихся пар арматуры на интенсивность износа. По усредненным результатам опытов построен график (рис.6.10).

Изучение данного обстоятельства показало, что дислокационная структура в приповерхностных слоях обрабатываемых образцов латуни, легированных и низкоуглеродистой сталей при трении (притирке) на определенной стадии на их поверхностях образуются ячейки. В результате создаются условия в итоге происходит шаржирование мягкого металла абразивными зернами. Характерно, что эти шаржированные абразивные зерна продолжают свою режущую способность и даже в процессе эксплуатации сопрягаемых прецизионных пар машин и оборудования. Интенсивность изнашивания абразивными зернами при этом линейно связано с их прочностью. Из чего можно сделать вывод, что более мягкий металл (в частности, латунь) изнашивается менее интенсивно по сравнению со стальным образцом, имеющим более высокую твердость.

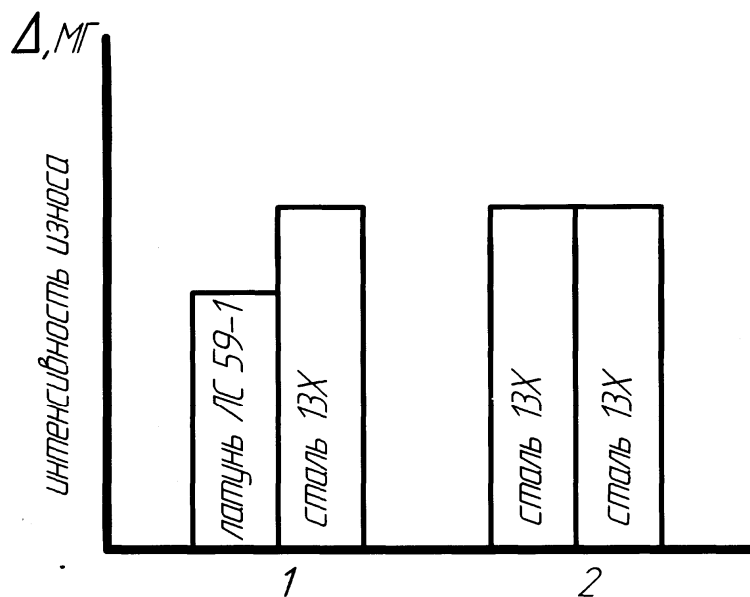


Рис.6.10 – Изменение износа в зависимости материала прецизионный пары после притирки алмазной смесью:

1 – пара «латунь-сталь»; 2 – пара «сталь по стали»

Во втором этапе первой серии опытов нами были подвергнуты проверке полученных результатов исследований в более широком плане, где притирка металла производилась в широком диапазоне применяемых абразивно-доводочных смесей (рис.6.11).

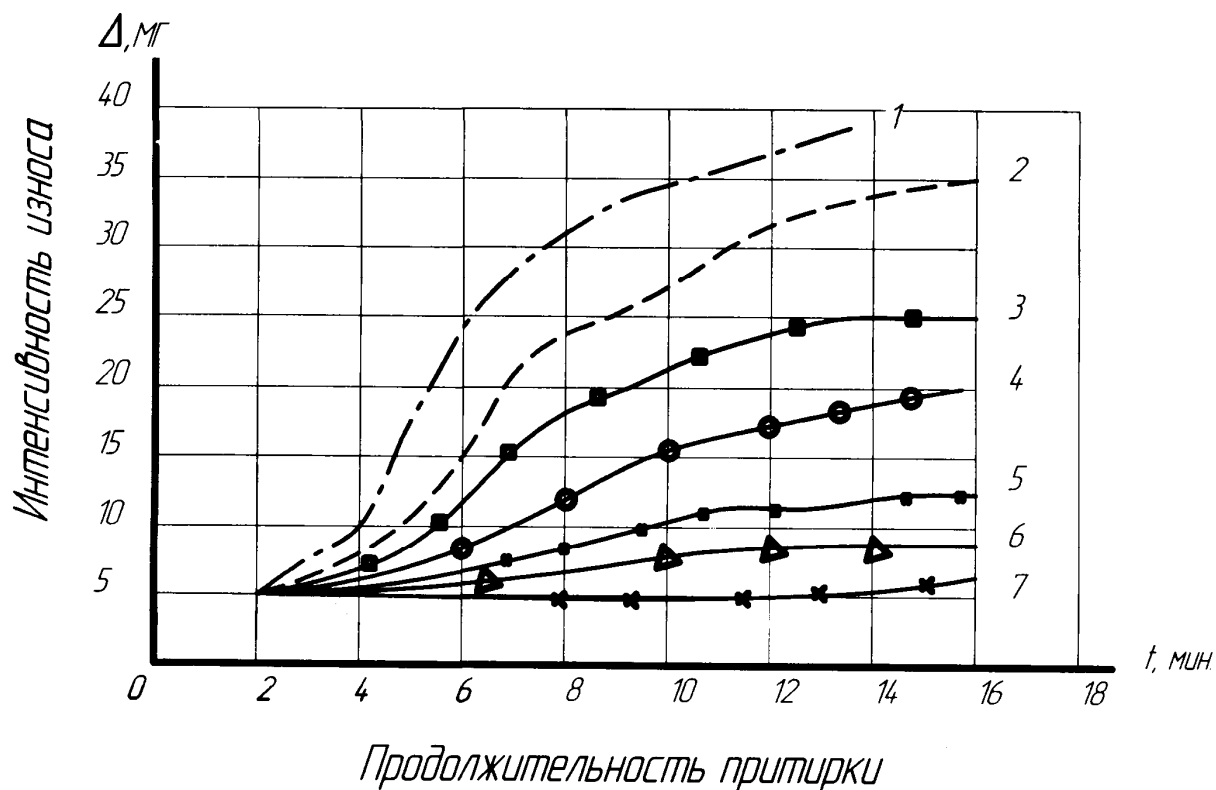


Рис.6.11 – Зависимость скорости износа образца от прочности абразивного зерна притирочной смеси:

1 -АС, 2-КБ, 3-3 А, 4-2А, 5- 1 А, 6-64С, 7-63С.

Анализируя результаты экспериментальных данных отчетливо видно, что прочность абразива особенно ощутима на интенсивности износа в первый период притирки.

Таким образом, исследованиями установлено, что существенное влияние на скорость изнашивания образцов оказывают структура и их твердость. При изучении фактора состояния притертой поверхности доказано, что чем прочнее абразивное зерно смеси, тем интенсивнее происходит «проникновение» его в обрабатываемую поверхность металла;

происходит «шаржирование» поверхности образца, то есть формируется технологическая наследственность.

Методика проведения экспериментальных исследований второй серии опытов.

Опыты проводились непосредственно в производственных условиях на испытательном стенде ОАО «ХТЗ» (рис.6.12), на котором оценивается герметизирующая способность отремонтированных пробковых, шаровых кранов и вентилях с Ду до 32 мм. В качестве образцов были использованы краны с Ду 25, а прецизионные пары до притирки были обработаны лезвийным инструментом. Притирка - искусственная приработка кранов, производилась абразивными смесями по аналогии с опытами первой серии исследований.

Оценка эксплуатационной надежности во времени производилась по следующим параметрам: величины износа сопрягаемых уплотнительных поверхностей в зависимости от применяемого вспомогательного материала на отделочных операциях новых и отремонтированных элементах арматуры; отношение герметизирующей способности запорной части трубной арматуры к надежности транспортной трубопроводной системы по критерию утечки энергоносителя.

Измерение утечки энергоносителя при разных давлениях через зазоры пробковых кранов производилась весовым и приборным методами.

Взвешенная «просочившаяся жидкость» - вода и дизельное топливо, в повторных экспериментах не использовалась, это позволяло избежать ошибок эксперимента. По усредненным данным результатов экспериментальных исследований строились графики.

На рис.6.13 показана скорость утечки воды при пониженных давлениях ($Q < 1 \text{ атм}$) и повышенных ($Q > 1 \text{ атм}$) давления жидкости, транспортируемой через трубопровод диаметров 25мм.

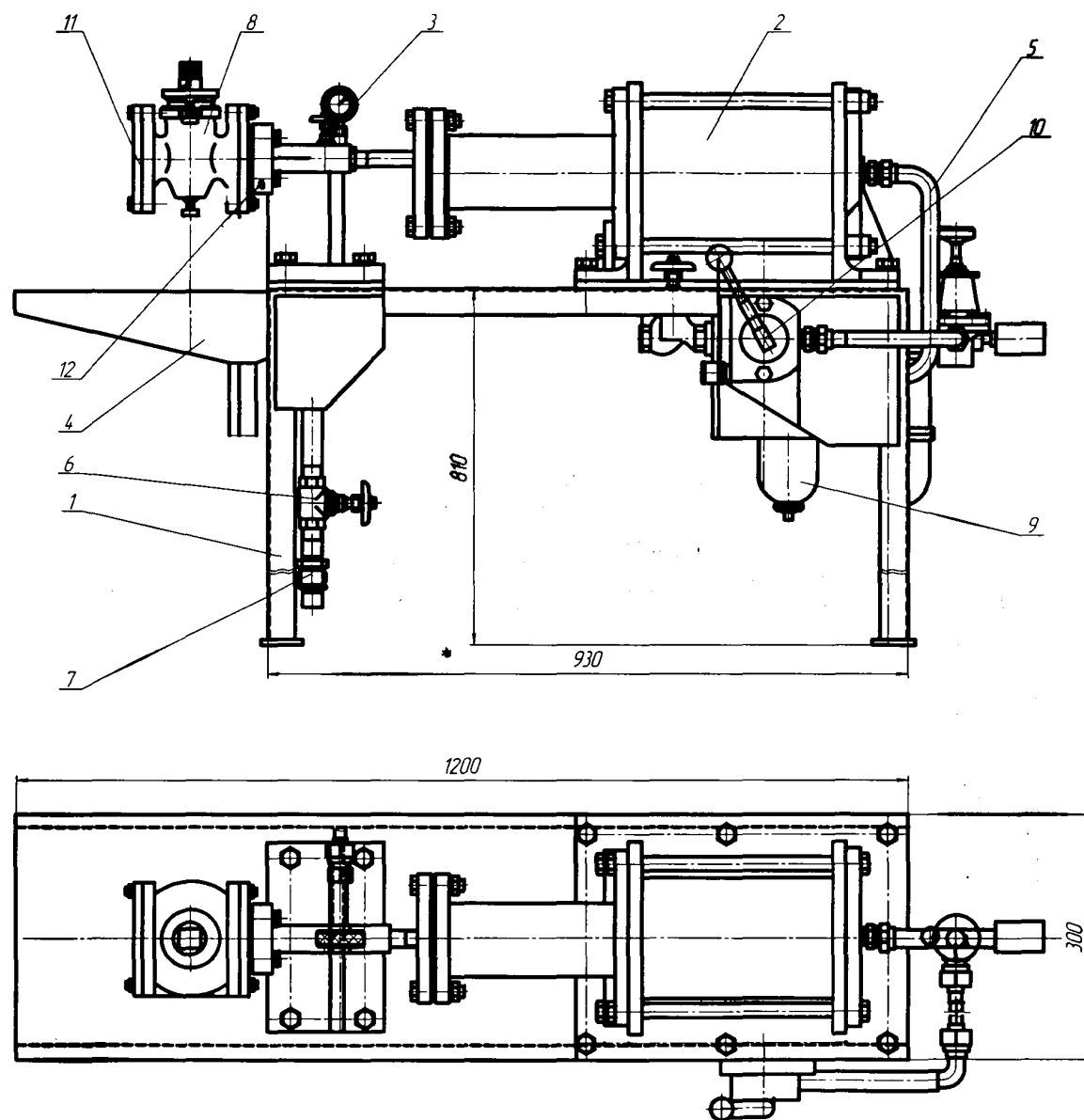


Рис.6.12 – Стенд контроля герметизирующей способности трубной арматуры:
 1 – станина; 2 – цилиндр; 3 – манометр; 4 – корыто сбора жидкости; 5,6,7,9 – трубопроводы и арматура стенда; 8 – контролируемый кран (образец); 10-пульт управления; 11 – запорная часть; 12 - шпindelь

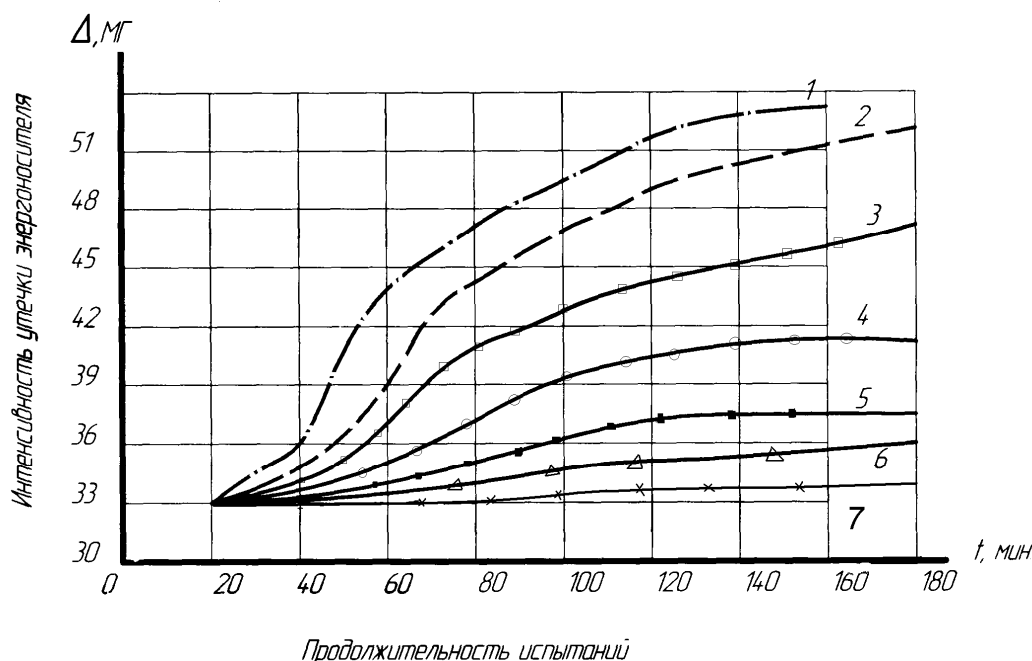


Рис.6.13 – Зависимость скорости утечки воды притертого пробкового крана от технологической наследственности во время эксплуатации:

1 – АС; 2 – КБ; 3 – 3А; 4 – 2А; 5 – 1А; 6 – 6ЧС; 7 – 6ЗС

С целью получения достоверных данных и с учетом чувствительности манометров производился многократный повтор испытаний: подача воды (Q м³/ч) при различных давлениях и по пропускной способности - несанкционированной утечке оценивалась эксплуатационная надежность работы трубной арматуры. Средняя величина вычислялась также по формуле:

$$a = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n} \quad (6.17)$$

где n – число измерений.

Средние значения каждой группы измерений обрабатывались методом наименьших квадратов, в результате чего определялось математическое ожидание, то есть функция с соответствующими коэффициентами, которые зависят от подачи воды и от напора $Q - H$; подачи воды от мощности $Q - H$ и

подачи воды от нагрузки (давления) $Q-1$ (коэффициент $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$). Используя метод масштабности, строили графики для каждой функциональной зависимости $(Q-H)$; $(Q-H)$ и $(Q-1)$. Относительные граничные зависимости результатов испытаний пробковых кранов и вентилей исчислены по формулам:

$$\Delta Q = \sqrt{\sigma Q^2 + \sigma \omega^2}, \%$$

где σQ и $\sigma \omega$ - относительные ошибки измерений при различных давлениях жидкости.

Исходя из специфики работы испытательного стенда, питающегося водой от заводской водопроводной сети $\sigma \omega$ принималось равным 1%.

Относительную граничную ошибку - утечку, то есть измерения герметизирующей способности на примере вентиля фланцевого типа 15с18бт при $Q = Q_{ном}$ вычисляли по формулам:

$$\varepsilon = Q - \bar{Q} \quad (6.18)$$

$$\bar{Q} = \frac{1.6 - 1.0}{2} = 1.3 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$\varepsilon = 2.0 - 1.3 = 0.7$$

Относительная величина утечки:

$$\sigma = 100 \frac{\varepsilon}{Q} \% \quad (6.19)$$

$$\sigma = 100 \frac{0.7}{2.0} = 0.35\% < 3\% .$$

Тогда:

$$\Delta Q = \sqrt{(0.35)^2 + (1.08)^2} = 1.7\% .$$

Применительно к напору воды:

$$\Delta H = \sqrt{(\sigma H)^2 + 3(\sigma \omega)^2} \%,$$

где

$$\sigma H = \sqrt{(1/\rho g H)^2 \left[(\sigma P_{M_2} P_{M_2})^2 + (\sigma P_{M_1} P_{M_1})^2 \right] Z_{M_2} / H - Z_{m_1} / H^2} \quad (6.20)$$

P – жидкотекучесть воды, кг/м³;

g – ускорение падения свободного течения, мс²;

Из приведенного графика в условиях трения и износа при эксплуатации трубной арматуры видно, что «шаржированная» часть прецизионной пары пробковых кранов продолжает работать как притир, и чем прочнее абразивное зерно, тем оно дольше истирает рабочую поверхность, снижая уплотняющую герметизацию часть запорной арматуры.

Для получения достоверностей и для ощущения влияния фактора технологической наследственности были подвергнуты изучению зависимость интенсивности износа-истирания колец компрессора, где одна часть прецизионной пары изготовлена из стали марки 13Х, а вторая из латуни марки ЛС59-1, притертых различными абразивными смесями. Полученные экспериментальные данные дали убедительное подтверждение по надежности и долговечности уплотнительных пар запоров арматуры, что видно из рис. 6.14.

Неравномерность изнашивания притертых деталей прецизионных пар, унаследовавшая в себе шаржированность поверхности мягкого материала зависит от природы абразива, его количества и режимов осуществления технологического процесса.

Изучение состояния изношенных поверхностей прецизионных пар уплотнительной арматуры показал, что прецизионная пара из стали марки 13Х имела значительные повреждения (большой износ), в то же время вторая пара из бронзы марки БрБ2 практически не имела никаких дефектов.

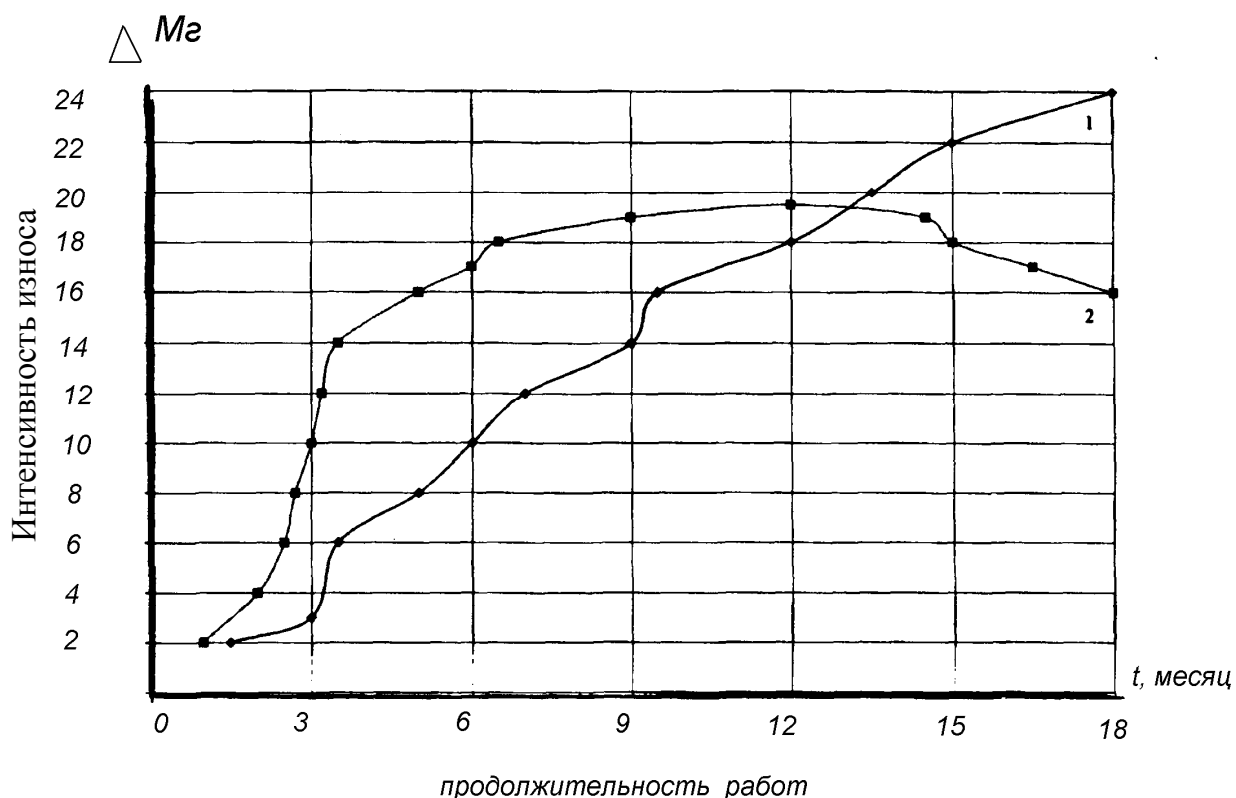


Рис 6.14 – Зависимость интенсивности износа во времени притертых деталей прецизионных пар уплотняющего элемента от твердости их материала:

- 1 – кольцо стальное твердостью HRC50
- 2 – бронзовое кольцо твердостью HRC25

Как видно, скорость и величина утечки энергоносителя находится в прямой зависимости от технологической наследственности и увеличивается при повышении давлений в транспортном трубопроводе.

Таким образом, этот факт необходимо учитывать как при производстве, так и при ремонте уплотнительных поверхностей арматуры любого назначения.

Состояние проблемы экономного использования транспортируемого энергоносителя к местам его использования требует того, чтобы к выбору материала трубной арматуры учитывались достижения науки и техники.

6.4. Методические рекомендации к совершенствованию технологии ремонта трубной арматуры транспортных систем

Методология творческой инженерно-технической деятельности в области совершенствования и технологии ремонта трубной арматуры еще недостаточно разработана.

Проект в определенном смысле может быть противопоставлен изделию ибо проект - это абстракция, а изделие, как материальный объект – конкретность. Проектирование и конструирование представляет собой деятельность с замыслами. Изготовление, ремонт и эксплуатация - это деятельность с изделиями, то есть в нашем случае с газовыми транспортными трубопроводами. Указанные области инженерной деятельности дополняются более глубокими разработками, основанными на исследованиях [91, 124, 140, 184].

Существенная особенность организационно-технических мероприятий по ускорению ремонта газового оборудования состоит в их действии, направленном на удовлетворении потребностей газового хозяйства. Подразделения ремонтно-механических производств должны разрабатывать организационно-технические мероприятия, что которые должны позволить:

- обеспечить ремонтные службы необходимой документацией: технологическими регламентами ремонта, чертежами оснастки и различного рода средствами малой механизации;
- предложить или разработать новые методы проведения ремонта, внедрять в ремонтное дело новые прогрессивные методы контроля и испытания;
- следить за технической вооруженностью ремонтных баз, пополнять их новым, прогрессивным на перспективу технологическим оборудованием, инструментами, вспомогательными материалами;

- проводить в ремонтную практику научные идеи, которые имеют всесторонне обоснование и которые проверены практикой, избегая односторонней рекламы купли-продажи.

Особенность технических средств и способов восстановления газового оборудования состоит в том, что они не только возникают благодаря человеку, но одновременно прямо или косвенно воздействуют на него (рис.6.15).

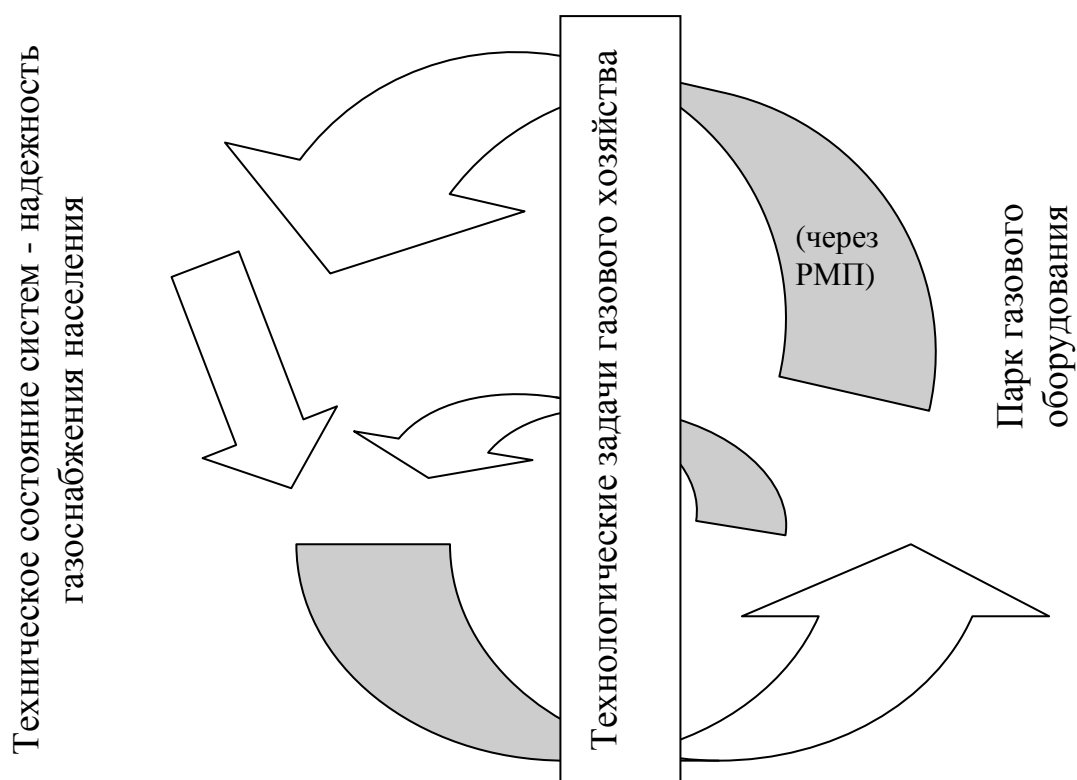


Рис.6.15 – Модель замкнутого комплекса взаимосвязи человека, работающего в газовом хозяйстве с парком газового оборудования и надежностью его эксплуатации

Системное понимание проблемы газового хозяйства и действия ремонтно-механического производства становится социальной необходимостью. На (рис.6.16) выход «0» прямо или косвенно сориентирован на потребности.

Вход обеспечивается наличием энергетических и других ресурсов.

Творческая и производственная деятельность в сочетании с практическими и теоретическими знаниями - это основа деятельности любого производства.

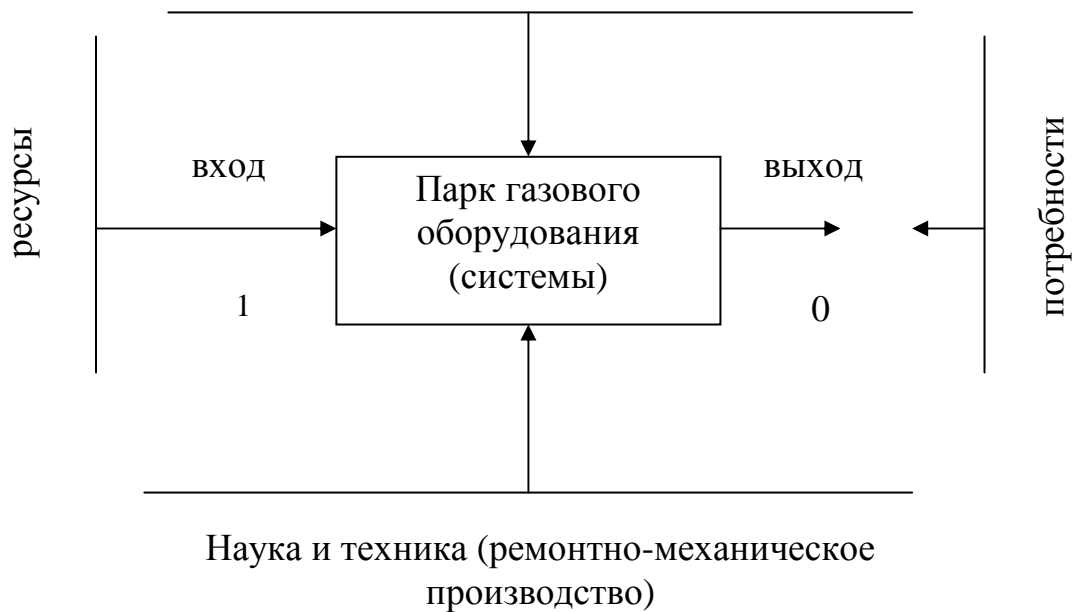


Рис.6.16 – Схема взаимосвязи в газовом производстве

Практика передовых ремонтных коллективов предприятий Украины показала целесообразность ускорения организационно-технических мероприятий, направленных на ускорение проведения ремонтно-восстановительных работ.

Восстановить первоначальные свойства трубной арматуры, оценить герметизацию перекрытия транспортируемого энергоносителя в действующей транспортной трубопроводной системе представляет определенные трудности, что требует определенных материальных и финансовых затрат (рис.6.17).

Планово-предупредительная

Адаптивная

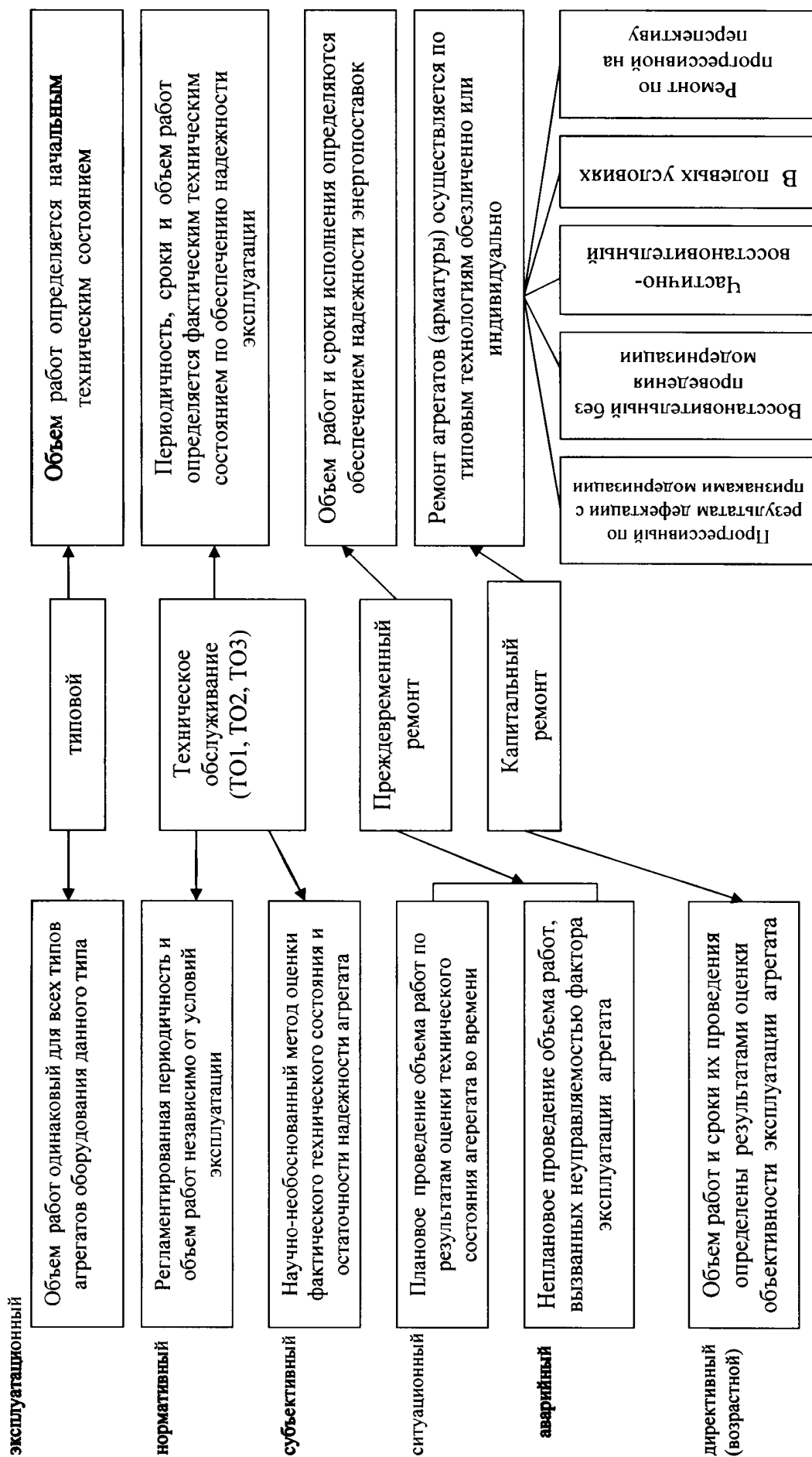


Рис 6.17 Основные принципы предлагаемой адаптивной системы технического обслуживания и ремонта

В идеальном случае сроки эксплуатации высокоточных конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем должны быть равны между собой, чем однозначно определяется срок их эксплуатации. Практически равенство $T_g = T_M$, но в реальных условиях при создании, производстве и эксплуатации встречается очень редко. В общем случае сопрягаемые детали трубной арматуры обладают различными свойствами (твердость, коррозионная стойкость, износостойкость и др.). Для периодически ремонтируемых изделий, к которым относятся транспортные трубопроводные системы, целесообразно приурочить замену изношенных конструктивных элементов к моменту очередного ремонта. При этом требуется обеспечение кратности сроков службы сопрягаемых деталей запорной арматуры и длительности межремонтного периода $T_{рем}$:

$$T_{рем} = n \cdot T_g \quad (6.21)$$

где n – целое число.

Выполнить это требование удастся сравнительно редко, что обусловлено рассеивание сроков службы во времени их эксплуатации.

Таким образом, к основным методам восстановления работоспособности газового оборудования и трубопроводных систем относятся: метод ремонтных размеров; метод применения дополнительных деталей; агрегатно-узловой метод и др. Перечисленные методы, хотя и не являются равнозначными. Метод ремонта ремонтными размерами нами предложен для восстановления трубной арматуры действующего газопровода, который базируется на взаимозаменяемости деталей трубной арматуры.

Взаимозаменяемостью называется принцип конструирования, производства ремонта и эксплуатации транспортных систем и других изделий, обеспечивающий их бесподгоночную сборку или замену при ремонте из независимо изготовленных сопрягаемых деталей и элементов при

соблюдении предъявляемых к ним условиями эксплуатации технических требований.

Взаимозаменяемость обеспечивается изготовлением деталей и сборкой узлов и изделий с требуемой (расчетной) точностью, их геометрических, механических, физических и других параметров. Эта точность определяется исходя из служебного назначения деталей, узлов и оптимального качества изделий.

Действительные значения геометрических, механических, физических и других параметров детали, узла могут отличаться от расчетных по многим причинам: неточности технологического оборудования; погрешностей и износа инструмента и приспособлений; силовой и температурной деформации системы оборудования «приспособление — инструмент — деталь»; непостоянства электрических и магнитных свойств материала; неоднородности физико-механических свойств материала заготовок, используемых вспомогательных материалов и др. Различают нормативную точность формы и размеров, состояние поверхностного слоя и действительные в виде готового изделия.

Степень соответствия действительной точности нормированной зависит от качества материала и заготовок, технологичности конструкции изделий, точности изготовления и сборки их и других факторов.

Точность запорной части арматуры - это степень действительных значений геометрических, механических, физических и других параметров корпуса и пробки к требуемым расчетным значениям, указанным в нормативно-технической документации.

Необходимыми предпосылками взаимозаменяемости являются: наличие соответствующего по точности оборудования, приспособлений, инструмента и средств контроля, а также достаточная квалификация рабочих, выполняющих производственные и контрольные операции. Для чего необходимо, чтобы точность оборудования и оснастки соответствовали точности изготавливаемых деталей и узлов. Во многих случаях для

обеспечения заданной долговечности и надежности изделий требуемая точность обработки деталей определяется микрометрами (микронами), а иногда и десятыми долями микрометра, например, запорной части крана.

Для повышения качества арматуры и уровня взаимозаменяемости необходимо также систематически повышать точность измерений. Технические измерения должны быть органически связаны с технологическим процессом и направлены главным образом на профилактику эксплуатационной надежности, что достигается путем управления точностью процессов изготовления. Управление точностью процессов должно основываться на результатах измерения деталей во время обработки и на периодическом контроле точности оборудования, приспособлений и инструмента.

Изложим методологию метода ремонта пробковых кранов, где корпусные соединения ограничиваются допустимыми отклонениями угла конуса, размером базового диаметра конуса, отклонениями формы конических поверхностей, а также общей длиной конусов, диаметрами другими конструктивными размерами. При изучении данного вопроса установлено, что допуски стандартизированы только для инструментальных конусов. По ГОСТ 2848-75 на допуски инструментальных конусов установлено пять степеней точности конусов: АТ4, АТ5....АТ8. Расположение допуска АТ угла может быть различным: в плюсовую сторону (+АТ), в минусовую (-АТ) или симметрично ($\pm \frac{AT}{2}$), а для трубной арматуры нормативных данных явно недостаточно.

Что касается расположения предельных отклонений угла конуса внутренних конусов, каким в нашем случае является корпус крана, принято симметричным, а наружных - в плюс. Как показывают исследования, при таком расположении отклонений угла конуса контакт конусов в большинстве случаев будет происходить по наибольшим диаметрам, при котором погрешность угла наклона легче компенсируется благодаря большей упругости корпуса.

Допуски базового диаметра D как для внутреннего, так и для наружного конусов приняты по 8 качеству поля допусков расположены в плюс от номинального размера для обоих сопрягаемых конусных деталей. При таком расположении полей допусков действительные отклонения пробки и втулки наиболее часто будут близки по форме, где базорасстояние изменяться практически не будет. Основываясь на богатейшим опыте авторемонтников, нами метод ремонта двигателей, его методология перенесена на ремонт пробковых кранов газотранспортных систем. В методологическом плане сущность метода ремонта трубной арматуры заключается в том, изношенные сопрягаемые поверхности корпуса и пробки крана восстанавливаются путем селективной подбавки с учетом их взаимозаменяемости. Обычно более дорогой корпус пробкового крана не демонтируется из действующей трубопроводной системы, а рабочая корпусная поверхность после извлечения пробки обрабатывается до очередного ремонтного размера. Что касается пробки, то она подбирается из числа ремонтного фонда соответствующего ряда, который должен иметь ремонтно-эксплуатационное хозяйство.

Для реализации теоретических предположений требуется произвести расчеты, например, определяем изменение базорасстояния при максимально допустимых погрешностях диаметров и углов уклона для конусного соединения $H=60\text{мм}$, $D=17,78\text{мм}$; $K \approx 1:20$; $\alpha = 1^\circ 25' 50''$. По таблицам стандартов находится допуск на базовый диаметр $\delta D = 0,07\text{мм}$. Исходя из условия одностороннего расположения поля допуска (в плюс) как для наружного, так и для внутреннего конусов, наибольшая разность размеров диаметров соединяемых конусов будет равна допуску δD , т.е.

$$\Delta D_B - \Delta D_A)_{\text{в}} = 0,07 \text{ мм} \quad (6.22)$$

Допускаемые отклонения угла конуса в мкм на 100 мм длины равны ± 15 мкм для внутреннего конуса и ± 30 мкм - для наружного конуса.

Учитывая, что отклонению угла конуса в 1 мкм на 100 мм длины соответствует отклонение угла уклона в 1" (или отклонение угла конуса в 2"), получим, что наибольшие допустимые отклонения угла уклона внутреннего конуса будут равны $\pm 15''$, а наружного $+30''$. Следовательно, при $\alpha_A > \alpha_B$, наибольшая разность углов уклона равна $(\alpha_A - \alpha_B)_{\text{доп}} = +15''$. Подставляя наибольшее отклонение диаметров и углов в формулу (2.5), получим (при $\alpha_A > \alpha_B$).

$$\Delta C_{\text{доп}} = 20 \cdot (0,07 + 6 \cdot 10^{-4} \cdot 60 \cdot 0,25) = 1,58 \text{ мкм}.$$

Таким образом, для внедрения данного мероприятия требуется произвести организационные и технические разработки, особенно с разработкой данных по ремонтным размерам на пробковые краны различных D_y .

6.5 Теория расчета усилий при формообразовании биметаллической заготовки уплотнительной части трубной арматуры газотранспортной системы

Состояние материала элементов транспортной трубопроводной системы является одним из важнейших показателей, определяющих их надежность в процессе эксплуатации. Релаксация напряжений, равно как и структурные превращения в металле заготовок уплотнительной частью арматуры приводит к изменению их формы и размеров. Если для повышения отдельных показателей важно формировать в поверхностных слоях напряжения определенного знака, то для увеличения стабильности размеров и формы прецизионных деталей арматуры напряжения обоих знаков являются нежелательными. Исходя из известных направлений повышения эксплуатационной надежности трубной арматуры, определенный интерес представляет использование биметалла в уплотнительной части запорной газовой арматуры. При этом следует исходить

из учета напряжения, возникающего в слоях, расположенных вблизи внутренней поверхности биметаллической заготовки (рис.6.18), так как это связано с управлением надежностью в деле герметизации системы.

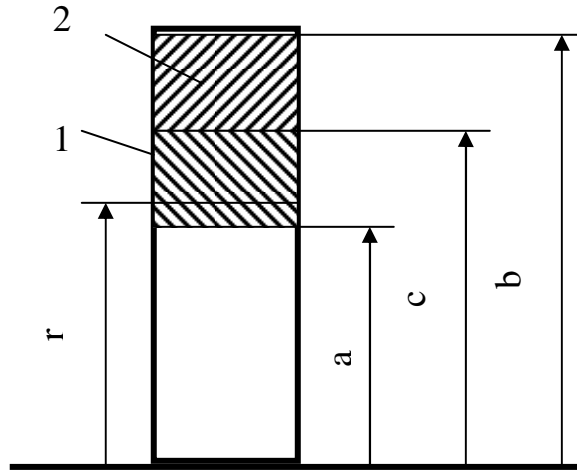


Рис.6.18 – Схема биметаллического кольца:

1 – основной слой; 2 – биметаллический слой.

Предлагается, что остаточные радиальные напряжения на радиусе определять по формуле:

$$\sigma_r(r) = \frac{\varepsilon_t(b)(b^2 - c^2)(c^2 - r^2) \left\{ E_2 \left[\frac{c^2 + r^2}{c^2 - r^2} - \mu_1 \right] + E_1 \left[\frac{b^2 + c^2}{b^2 - c^2} + \mu_2 \right] \right\}}{4c^2 r^2} \quad (6.23)$$

а остаточные же окружные напряжения для того же радиуса удобнее определять по формуле:

$$\sigma_t(r) = \frac{E_2(b^2 - c^2)}{4c^2 r^2} \left[\{ r^2 - c^2 - (c^2 + r^2) \left[\frac{E_1}{E_2} \left(\frac{b^2 + c^2}{b^2 - c^2} + \mu_2 \right) - \mu_1 \right] \} \varepsilon_t(b) + \{ r^2 + c^2 + \right. \\ \left. + (c^2 - r^2) \left[\frac{E_1}{E_2} \left(\frac{b^2 + c^2}{b^2 - c^2} + \mu_2 \right) - \mu_1 \right] \} \frac{d[\varepsilon_t(b)]}{dr} \right]$$

где в этих формулах E_1 и E_2 - модули упругости слоев материала;

μ_1, μ_2 - коэффициенты поперечной деформации материала для соответствующих слоев;

$\varepsilon_1(b)$ - результат измерения на радиусе b при снятии с внутренней поверхности слоя по радиусу r в пределах $a \leq r \leq c$.

Для построения полной эпюры напряжений, в том числе заготовки уплотнителя арматуры, можно применить метод экстраполяции [57]. Исходя из чего, конструктивные элементы запорной части арматуры должны быть рассчитаны таким образом, чтобы полностью исключить сжатие и разрыв их при знакопеременных нагрузках работы арматуры трубопроводных транспортных систем.

С целью разработки практических предложений по данной проблеме рассмотрим теорию силовых деформаций биметалла в четырехвалковых калибрах, необходимость чего обусловлена все возрастающей сферой применения биметалла в прецизионных парах запорной, регулирующей и прочей арматуры. Расчет энергосиловых параметров необходим не только при конструировании и расчете заготовок уплотнительных элементов трубопроводной арматуры, но и при построении и выборе оптимальных условий технологического процесса производства.

Вопросу определения сопротивления деформации сложных полос при прокатке посвящен ряд работ [99, 112], в которых биметаллическая полоса условно заменена монометаллической и среднепропорциональным сопротивлением деформации. Некоторые другие авторы при определении силы волочения биметаллического прутка оперирует средневзвешенным значением сопротивления деформации, что не позволяет определить послойные продольные напряжения в компонентах биметалла. В работе [16, 117] послойные продольные напряжения рассчитываются, уподобляя процесс волочения биметаллической проволоки процессу волочения трубы на плавающей оправке, где сердечник как оправка деформируется вместе с трубой, либо является жестким телом. Сведений о теории расчета усилия при прокатке и штамповке заготовки в четырехвалковых калибрах явно недостаточно. Наши исследования вследствие принятых допущений не претендуют на точное описание силовых усилий реальных

процессов, но, тем не менее, позволяют объяснить имеющее место в практике производства биметаллов явление. Вместе с тем предложенная методика позволяет с достаточной степенью точности осуществлять технологические расчеты, производить количественную оценку влияния технологических факторов на процесс пластического формообразования биметаллов и его устойчивости.

Таким образом математическую методику установившегося процесса протяжки k-слойной полосы в n-валковом калибре (рис.6.19) при следующих допущениях:

- избирательная деформация отсутствует, выполняется условие совместной пластической деформации разных металлов;
- распределение полостных продольных напряжений в пределах каждого слоя равномерное и является только функцией координаты X;
- вытяжки элементарных слоев компонентов биметалла равны;
- силы трения по всей межслойной поверхности максимальны и не превышают предела текучести на сдвиг мягкого компонента:

$$\tau_{\max} = \tau_{sm} \approx 0.5\delta_{sm}.$$

где $\tau_{ХОТ}, \tau_{ХОЛ}$ - распределение удельных сил трения по контактными поверхностям в зоне отставания $F_{от}$ и определения $F_{оп}$.

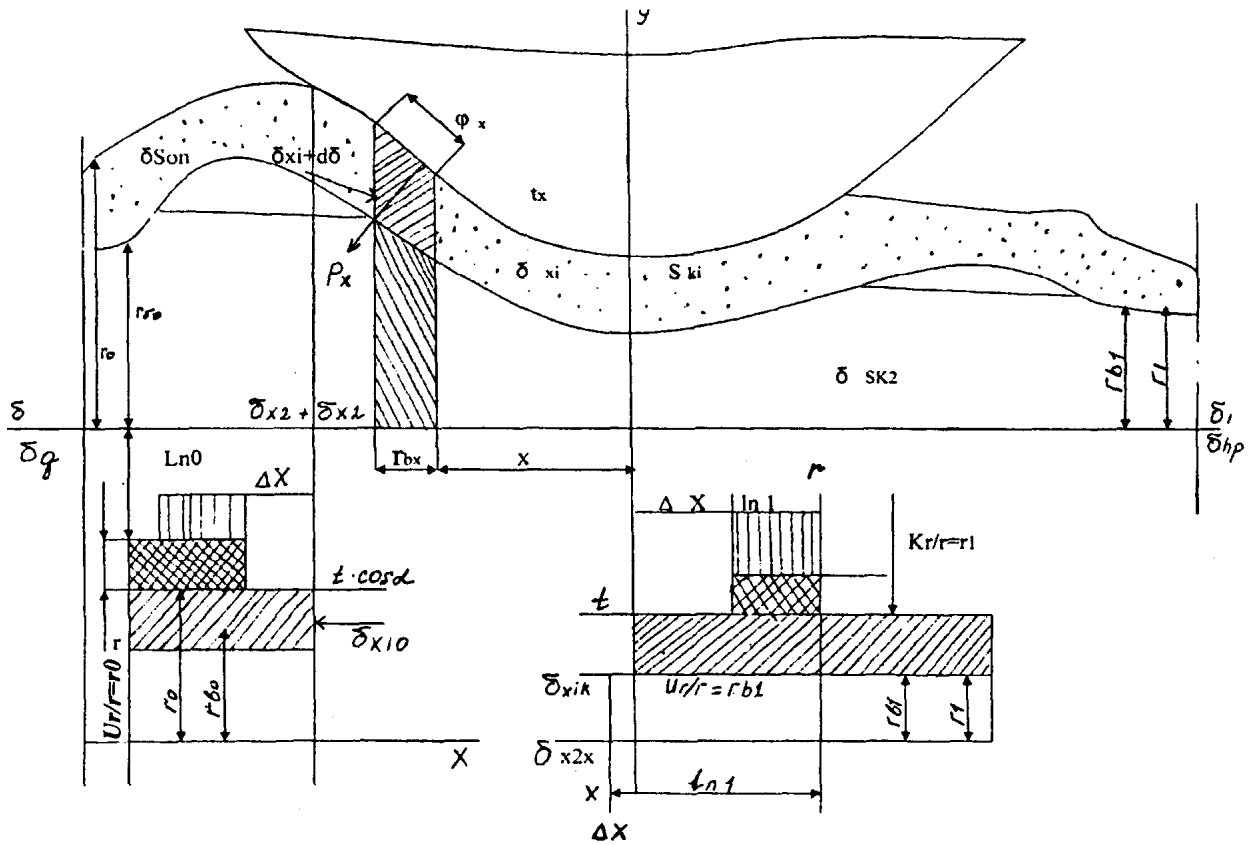


Рис.6.19 – Схема сил, действующих в очаге деформации четырехвального калибра

Используя известные научные обоснования физики процессов обработки металлов давлением [4], приводим формулу:

$$\frac{\sum_{i=1}^{i=K} A_i \delta_{xi}}{d\mu_x} - \frac{\sum_{i=1}^{i=K} A_i \delta_{xi}}{\mu_x} + \frac{P_x}{\mu_x} \pm \frac{t_x}{\mu_x} \cdot \frac{\delta}{f} = 0 \quad (6.24)$$

При законе трения на контакте по Зибелю [4] с учетом упрочнения плакирующего материала:

$$t_x = f\delta_{sx1} = f[\delta_{so1} + m_1(\mu_x - 1)] \quad (6.25)$$

где $m = \frac{\delta_{sk1} - \delta_{so1}}{\mu - 1}$ - модуль упрочнения плакирующего материала;

μ, μ_1 - конечная и текущая вытяжки по длине очага деформации.

Связь между удельным давлением P_x и послойными продольными напряжениями δ_{xi} определим из приближенного факта пластичности при условии, что обжатие со стороны каждого валка одинаково ($\delta_1 = \delta_2 \cong P_x$):

$$P_x - \delta_{x_1} = \delta_{SX1}; \quad P_x - \delta_{X1} = \delta_{SO1} + m_1(\mu_x - 1) \quad (6.26)$$

$$P_x - \delta_{x_2} = \delta_{SX2}; \quad P_x - \delta_{X2} = \delta_{SO2} + m_2(\mu_x - 1)$$

Так как оба компонента биметалла находятся в пластическом состоянии, уравнение (6.26) одновременно удовлетворяет условию совместимости [3]:

$$\delta_{SX1} + \delta_{X1} = \delta_{SX2} + \delta_{X2} \quad (6.27)$$

Решая совместно уравнения (6.24), (6.25) и (6.27) получим:

$$\frac{dP_x}{d\mu_x} - \sum_{i=1}^{i=k} \frac{A_i(m_i - \delta_{SOi})}{\mu_x} \pm \frac{m_i - \delta_{SO1}}{\mu_x} \delta \pm m_1 \delta = 0 \quad (6.28)$$

и с учетом граничных условий в зоне отставания:

$$\mu_x = 1; \quad P_x = \delta_{SO}^{SP} - \delta_g = \sum_{i=1}^{i=k} A_i \delta_{soi} - \delta_q \quad (6.29)$$

)

где δ_q - напряжение противонапряжения, получим законы распределения удельных давлений P_x и послойных напряжений δ_{xi} в зоне отставания:

$$P_x = (\mu_x - 1)[A_1(m_1 - \delta_{SO1}) + A_2(m_2 - \delta_{SO2}) + \delta\delta_{SO1}] + \sum_{i=1}^{i=2} A_i \delta_{soi} - \delta q \quad (6.30)$$

$$\delta_{xi} = (\mu_x - 1) \left[\sum_{i=1}^{i=2} A_i(m_i - \delta_{SO1}) + \delta\delta_{SO1} \right] + \sum_{i=1}^{i=2} A_i \delta_{SOi} - \delta_q - \delta_{SXi} \quad (6.31)$$

где δ_{SXi} - текущее значение предела текучести данного компонента.

Граничные условия в зоне опережения в плоскости выхода неизвестны, так как определение напряжения протяжки $\delta_{пп}$ - цель всего решения. Рассмотрим другое граничное условие при протяжке в роликовых волокнах положения нейтрального сечения, определяемого вытяжкой в нейтральном сечении μ_H , строго определено, а поэтому при

$$\mu_x = \mu_H, \quad P_x = P_H \quad (6.32)$$

$$P_H = \ln \mu_H \left[\sum_{i=1}^{i=k} A_i (m_i - \delta_{soi}) + \delta \delta_{soi} \right] + \sum_{i=1}^{i=k} A_i \delta_{soi} - \delta_q .$$

Решая при данных условиях уравнение, получим закон распределения удельных давлений P_x и послойных продольных напряжений δ_{xi} в зоне определения при протяжке в роликовой волоке:

$$P_x = \delta_{soi} [2\mu_H - (\mu_x + 1)] + (\mu_x - 1) \sum_{i=1}^{i=k} A_i (m_i - \delta_{soi}) + \sum_{i=1}^{i=k} A_i \delta_{soi} - \delta_{qi} \quad (6.33)$$

$$\delta_{xi} = \delta_{soi} \delta [2\mu_H - (\mu_x + 1)] + (\mu_x - 1) \sum_{i=1}^{i=k} A_i (m_i - \delta_{soi}) + \sum_{i=1}^{i=k} A_i \delta_{soi} - \delta_q - \delta_{SXi} \quad (6.34)$$

Вытяжку в нейтральном сечении при протяжке определим из условия, что валки роликовой волоки энергонеутральны и не передают мощности. Расчеты показывают, что применение подшипников качения потери на трение в цапфах установки (оборудования) весьма незначительны и ими можно пренебречь. Тогда вытяжка в нейтральном сечении определится решением уравнения:

$$\iint_{F_{OT}} \tau_{xOT} dF_k = \iint_{F_{on}} \tau_{xon} dF_k \quad (6.35)$$

Таким образом, предложенная методика расчета усилий при формообразовании биметаллической заготовки может быть использована при

создании техники и технологии ремонтного производства, занимающегося заменой прецизионных металлических и неметаллических пар на биметаллические.

В перспективе использование биметаллических пластин в уплотнениях запорной трубной арматуры позволит повысить эксплуатационную надежность транспортных трубопроводных энергетических систем, снизить нерациональное использование энергоносителя при его транспортировании.

Определение зависимостей изменения функциональных параметров трубной арматуры от износа уплотнительных поверхностей кранов у вентилей позволит оперативно решать в условиях эксплуатации задачу функционального диагностирования транспортных трубопроводных энергетических систем. При выборе материала прецизионной пары трубной арматуры следует знать, что они должны отвечать всем требованиям, предъявляемым к материалам главного циркуляционного контура, т.е. не должны взаимодействовать с теплоносителем в рабочем диапазоне температур и давлений, должны допускать дезактивацию щелочными и кислотными растворами, а также должны быть коррозионно-стойкими и устойчивыми против эрозии при предельных скоростях движения энергоносителя в проточных частях.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны теоретические обоснования и новые разрешения важнейшей народно-хозяйственной проблемы повышения надежности и долговечности элементов транспортных трубопроводных систем, направленное на снижение утечки транспортируемого энергоносителя, на повышение экологической безопасности промышленного производства при создании, изготовлении и ремонте разнообразной техники.

2. Подтверждено, что обеспечение бесперебойной работы транспортных трубопроводных систем, их элементов невозможно без современного и качественного технического ухода и ремонта, и что до настоящего времени отсутствовала необходимая совокупность методов и способов определения функционально-технического состояния трубной арматуры в условиях эксплуатации с достоверной необходимой точностью для решения технологических задач при ее создании, производстве и эксплуатации.

3. Впервые, на основе анализа и обобщения научных исследований и передового производственного опыта работы ремонтно-эксплуатационных производств смежных отраслей народного хозяйства, сформирована специальная отрасль знаний – основы технологии ремонта газового оборудования и трубопроводных систем, что позволит разрешению самых разнообразных задач, которые возникают на всех этапах производства и ремонта деталей и узлов газознергетической техники.

4. Исходя из того, что проблема обеспечения надежности техники сложна и многогранна, охватывающая все стадии жизненного цикла транспортных систем, начиная от создания и кончая эксплуатацией, впервые сделана попытка теоретически обосновать аспекты формирования надежности конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем.

5. На основании анализа методических и технологических данных разработана стратегия обеспечения эксплуатационной надежности трубной арматуры транспортных трубопроводных систем по критериям технологической наследственности:

- общая стратегия обеспечения надежности транспортных трубопроводных систем и их конструктивных элементов;

- обеспечение надежности конструктивных элементов технологическими методами;

- условия изменения коэффициентов влияния технологического наследования при окончательной обработке прецизионных пар арматуры.

6. Преодолению сложившейся неблагоприятной конъюнктуры, оказывающей существенное влияние на количество и качество То и ТР, на использование малоэффективных вспомогательных материалов впервые проведенные теоретические и экспериментальные исследования с использованием вычислительной техники, позволяют изменить воззрение на вспомогательные материалы и их роль в формировании надежности изделий и экологической безопасности промышленного производства.

7. Впервые разработана и внедрена в практику методика проектирования составов вспомогательных материалов агрегатным методом, позволяющая в составах поменять несовместимые ингредиенты в технологических целях.

8. Предложенная математическая модель прогнозирования качества вспомогательных материалов технологического назначения и разработанный классификатор технических моющих-очищающих средств, позволили создать и запустить в серийное производство высокоэффективные, конкурентноспособные, практически безопасные технические моющие-очищающие композиции типа «ТМОК», которые более трех десятилетий широко используются во многих отраслях народного хозяйства страны и стран СНГ.

9. При росте требований к надежности конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем впервые доказано, что трубная арматура и ее сопрягаемые детали могут работать в условиях эксплуатации значительно дольше, если будет правильно выбран вспомогательный материал, оказывающий существенное влияние на износостойкость высокоточных пар запорной и контролирующей арматуры.

10. Предложен метод повышения эффективности То и ТР трубной арматуры ремонтными размерами, широко использующийся в ремонтной практике авто- и тракторотремонта.

11. На основе собранной информации функционально-технического состояния трубной арматуры транспортных трубопроводных систем разработано методическое обеспечение управлением надежностью элементов транспортных трубопроводных систем на стадии производства и эксплуатации. Решены задачи по предложениям использования биметаллы в трубной арматуре.

12. Разработан новый метод прогнозирования функционально-технического состояния элементов транспортных трубопроводных систем по факту утечки энергоносителя во времени при эксплуатации и трубной арматуры.

13. Исследованы общие закономерности влияния вспомогательного материала на формирование технологической наследственности прецизионных пар пробковых кранов, вентилей. На этой основе доказаны причины нерациональной утечки транспортируемого энергоносителя, факт подтвержден результатами экспериментальных исследований.

14. Усовершенствованы методы и разработаны методические рекомендации к совершенствованию технологии ремонта трубной арматуры транспортных систем. Теория расчета усилий при формообразовании биметаллической заготовки уплотнительной части трубной арматуры может быть использованы в практической работе ремонтных предприятий.

15. Разработанные, в течение 1990-2008гг нормативно-техническая документация и новые технологии повышения качества деталей, узлов и машин, нашли широкое использование в различных отраслях народного хозяйства Украины и стран СНГ.

Практически все разработки имеют авторскую правовую защиту, а разработанные «Технические условия на производство и применение технических моющих-очищающих композиций ТМОК-6П ТУ 113-5766378-01-90» согласованы с Министерствами Здравоохранения Украины, России и переданы ОАО «Винницкий химический завод», ЗАО «Экохиммаш» г.Буй Костромской области для руководства и использования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы. М.: Недра, 1982 – 384с.
2. Ильченко Б.С., Измалков Б.И. Теоретические основы и методы расчета функционально-технического состояния газоперекачивающих агрегатов: Монография. Харьков: Коллегиум, 2006 – 250с.
3. Трубопроводный транспорт нефти/ С.М. Вайншток, В.В. Новоселов, А.Д. Прохоров и др. – Е.2. – М., 2004 – 290с.
4. Нефтегазовое строительство. Учебное пособие (Беляева В.Я. и др.) М.: Омега-Л, 2005 – 774с.
5. Капцов И.И. Сокращение потерь газа на магистральных газопроводах. М.: Недра, 1988 – 160с.
6. Котелевский Ю.М., Экслер Л.Н. Некоторые вопросы технологии притирки уплотнительных поверхностей. М.: Химнефтемашиностроение, 1967, №2, с.15-17
7. Костецкий Б.И., Носовский И.Г. Износостойкость и антифрикционность деталей машин. К.: Техніка, 1965-208с.
8. Ящерицын П.И., Скорынин Ю.В. Работоспособность узлов трения машин. Минск: Наука и техника, 1994 – 288с.
9. Масловский В.В., Полянский А.С. Проблемы надежности конструктивных элементов трубопроводных транспортных систем. Материалы международной научно-технической конференции. Харьков, ХНАГХ, 2008 – с.124-125.
10. Кузьмин И.В. Основы моделирования сложных систем. К.: Вища шк., 1981 – 360с.
11. Касаткин Б.С. Структура и микромеханизм хрупкого разрушения стали. К.: Техніка, 1964 – 264с.

12. Филипчук В.А. Природоохоронні системи очистки та використання багатокомпонентних стічних вод із важкими металами. Авт.докт.дисер. Донець, 2008 – 36с.
13. Корост О.А. Мойка изделий трихлорэтиленом и другими хлорированными рас творителями. Изд-во НТИиП Эстонской ССР, 1969, - 92с.
14. Коннова Г.В. Оборудование транспорта и хранение нефти и газа. Ростов-на-Дону. Феникс, 2006 – 128с.
15. Карасик И.И. Прирабатываемость материалов для подшипников скольжения. – М.: Наука, 1978, - 135с.
16. Кулешова З.Г. Определение остаточных напряжений в биметаллическом кольце// Известия вузов. Машиностроение, 1969г. №6, С.37-39.
17. Кухтов В.Г., Полянський А.С. Визначення змісту і об’ємів робіт при технічному сервісі.// Техніка АПК. – 2001. - №1-2. – с.13-18.
18. Кавалерчик К.М. Організаційно-економічні основи управління працездатністю і оптимізації довговічності машин. – Автореф. Дис.докт.екон.наук. – М.: МИИСП, 1989. – 32с.
19. Кренцен Б.П. Прогнозування надійності систем з тимчасовою надмірністю. – К.: Наук.думання, 1978. – С.240.
20. Кузнецов Е.С. Теоретичні основи профілактики як методу забезпечення надійності автомобілів. Автореф. дис.докт.техн.наук. – М., 1969.
21. Ковальов А.П., Кантор В.І., Можасєв А.Б. Економічне забезпечення надійності машин. – М.: Машинобудування, 1991. – 240с.
22. Колегаєв Р.Н. Економічна оцінка якості і оптимізація системи ремонту машин. – М.: Машинобудування, 1980. – 239с.
23. Кухтов В.Г., Подрігало М.А. Проектування автотракторних конструкцій із заданим рівнем надійності.// Праці Міжнародної науково-технічної конференції „Пріоритети розвитку вітчизняного автотракторобудування і підготовки кадрів”. – Москва: МАМИ. – 2000. – С.167-170.

24. Богомолов Н.И. Чистота поверхности при абразивной доводке металлов с различными механическими свойствами. – В Сб.: труды семинара по качеству поверхности деталей машин. М., АН СССР, 1961, №5.

25. Смірнов Н.Е., Іцковіч А.А. Методи обслуговування і ремонту машин по технічному стану. – М.: Знання, 1973. – 256с.

26. Бундук В.А. Транспорт и хранение нефти, нефтепродуктов и газа. М.: Недра – 366с.

27. Сборник о природе схватывания твердых тел. М.: Наука, 1968 – 60с.

28. Беямінов В.С., Полянський А.С. Оптимізація експлуатаційної надійності системи топливopодачи автотракторних двигунів // Автомобільний транспорт, серія Вдосконалення машин для земляних і дорожніх робіт. Сб.науч.тр.Вип.11. – 2003. – С.81-83.

29. Бешельов С.Д., Гурвіч Ф.Г. Математико-статичні методи експертних оцінок. – М.: Статистика, 1974, - 159с.

30. Бердичевский Е.Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1984, - 224с.

31. Беренсон С.П. Химическая технология очистки деталей двигателей внутреннего сгорания. – М.: Транспорт, - 268с.

32. Баби́чев А.А. Вибрационная обработка деталей. – М.: Машиностроение, 1974, - 136с.

33. Буше Н.А. К вопросу о процессах, происходящих на поверхности трения металлических материалов. – В кн.: О природе трения твердых тел. Минск, 1971, С.75-77.

34. Буше Н.А., Двоскина В.А., Торопчинов А.Н. Роль мягких структурных составляющих в антифрикционных сплавах. – Инж.-физ. Журн. 1959. №4. С.308-345.

35. Бажінов А.В. Прогноз і управління в системі ТЕ і ремонту автомобілів // Вісник ХГАДТУ: Сб.науч.тр. Харків: ХГАДТУ, 2000, вып. 12-13. – С.34-37.

36. Базовский И. Надежность. Теория и практика. – М.: Мир, 1965. – 374с.

37. Вензель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969, - 310с.

38. Волощенко О.И., Медяник И.А. и др.. Гигиена применения синтетических моющих средств. Киев, Здоров'я, 1977, - 142с.
39. Волошкин Н.П., Попов В.Я., Тартаковский Ц.О. Капітальний ремонт швидкохідних дизелів. – М.: Машинобудування, 1971. – 480с.
40. Варфоломеев В.Н. Наукові основи побудови і реалізації технології підтримки автомобілів в працездатному стані на базі діагностичної інформації. Авт.дис.д-ра.техн.наук: 05.22.10. – Х., 1992. – 360с.
41. Масловский В.В., Галяс И.С. Методологические основы создания ТМС для машино- и приборостроения. М.: сб.Энергомашиностроение, 1984, №8 – с.15-16.
42. Бронштейн Н.Н., Сепедяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. М., Л.: ОГИЗ, 1948 – 554с.
43. Иванов Б.И. Очистка металлических поверхностей пожаробезопасными составами. М.: Машиностроение, 1979. – 183с.
44. Горохов В.А. Управление качеством поверхностей высокопластичных материалов при регуляции их микрорельефов. Вестник машиностроения, 1990 №9, С.62-67.
45. Громов П.П. Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1967. – 385с.
46. Гребенщиков И.В. Химические реакции на поверхности силикатов и их значение для техники. – М.-Л.: Отдельный выпуск АН СССР, 1957.
47. Шубников А.В. К вопросу о сущности процесса шлифовки и полировки твердых тел и их значение для техники. – М.: Сб.труды Ломоносовского института Ан ССР, 1936, №8.
48. Абдула С.Л., Кухтов В.Г., Полянский А.С. Збереження надійності тракторних конструкцій при проектуванні.// Техніка в АПК, 2002 №7-8, С.29-32.
49. Аніловіч В.Я., Літвіненко В.Л. Математичні методи визначення показників надійності. – М.: МІІСП. 1983. – 53с.
50. Аніловіч В.Я., Строков А.П., Полянський А.С. Підвищення експлуатаційної надійності тракторних двигунів.// Техніка в АПК. – 2000. - №11-12. – С.300.

51. Авдонькін Ф.Н. Оптимізація зміни технічного стану автомобіля. – М.: Транспорт, 1993, - 350с.
52. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей. М.: Машиностроение, 1966 – 327с.
53. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение. Л., Химия, 1975, - 246с.
54. Аніловіч В.Я., Кухтов В.Г., Полянський А.С. Оптимізація передпродажної підготовки тракторів і сільгоспмашин.// „Трактори і сільгоспмашини”. – 1997. - №2. – С.5-7.
55. Аніловіч В.Я. і ін. Експлуатаційна надійність сільськогосподарських машин. – Мінськ.: Ураджай, 1994. – 264с.
56. Гуревич Д.Ф. Справочник конструктора трубопроводной арматуры. Л.: Машиностроение. Ленингр.отделение, 1988. – 518с.
57. Громов П.П. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1967г. – 385с.
58. ГОСТ 16429-70. Трение и изнашивание в машинах. Основные термины и определения. – М.: Изд-ва стандартов, 1970. – 11с.
59. Гайдуцький П.І., Лобас М.Г. Відродження МТС (організація машинотехнологічних станцій в ринкових умовах). – К.: Агро інком, 1997. – 508с.
60. Говорущенко Н.Я. Діагностика технічного стану автомобілів. – М.: Транспорт, 1970. – 254с.
61. Масловский В.В. Разработка и использование абразивно-доводочных материалов. Автомобильная промышленность, 1970, №1, С.33-34.
62. Елифанов Г.И., Глаголев Н.И. и др. Влияние поверхностноактивных средств на поверхностный наклеп металлов. – М.: ДАН СССР, том 123, №4, 1958.
63. Маслов Е.Н. Механизм работы абразивного зерна при шлифовании. Сб.: основные вопросы высокопроизводительного шлифования. – М.: Машгиз, 1960, С.39-42.
64. Максимович Я.Б. Прописывание, несовместимость и побочные действия лекарственных средств. К.: Здоров'я, 1974, - с.160.

65. Масловский В.В., Капцов И.И., Сокруто И.В. Основы технологии ремонта газового оборудования и трубопроводных систем. М.: Высшая школа, 2007 – 320с.

66. Методика визначення граничних і допустимих значень діагностичних параметрів агрегатів машин. // Гір.філ. ВНИИНМАШ. – Горький, 1980. – 37с.

67. Міловідов В.В., Самойлович В.Г. Прогнозування і оптимізація показників якості машин // Тр.ВНП стандартизація. – М., 1974, вып.19. – С.87-97.

68. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту) // В двох частинах. Ч.1. – Харків: РІО ХГАДТУ, 1998. – 255с.

69. Грінченко А.С. Оцінка і прогнозування показників надійності у разі параметричних відмов. – Надійність і контроль якості. – 1991. - №7. – С.38

70. Гладкий В.Ф. Імовірнісні методи проектування конструкцій літального апарату. – М.: Наука, 1973. – 304с.

71. Гмошенський В.Г., Фліорент Е.А. Теоретичні основи інженерного прогнозування. – М.: Гаука, 1973. – 304с.

72. ГОСТ 27.502-83 Надійність в техніці. Система збору і обробки інформації. Планування спостережень. – Введ.01.07.84. – 23с.

73. Погорілий Л.В. Підвищення експлуатаційно-технологічної ефективності сільськогосподарської техніки. – К.: Техніка, 1990. – 176с.

74. Подрігало М.А. та інш. Конструктивна зносостійкість вузлів тертя гідромашин. – Х.: Центр Л.Курбаса, 1996. – 136с.

75. Орлов П.Н. Шлифование и отделочные виды обработки. В кн.: Технология металлов в приборостроении, под ред.А.П. Малова М.: Машиностроение, 1969,- С.41-45.

76. Королюк В.С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике/ Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., М.: Наука, 1985 – 640с.

77. Таран В.А., Брудник С.С., Кофанов Ю.Н. Математические вопросы автоматизации производственных процессов. М.: Высшая школа, 1968, - 216с.

78. Технологические процессы пластического деформирования в машиностроении. (А.В. Алифасов, Захарович Л.В. и др..) Минск, Наука и техника, 1990 – 208с.

79. Теоретические основы обработки металлов давлением. Монографія (В.М. Иллюкович, А.П. Огурцов и др.. „Днепропетровск: РВА „Дніпро-ВАЛ», 2001 – 516с.

80. Гриднев В.Н., Рам А.З. Механизация доводки прецизионных деталей в мелкосерийном производстве. М.: Машиностроение, 1983 – 72с.

81. Натарзан В.М. Забезпечення працездатності тракторів сільськогосподарського призначення: Автореф.дис.д-ра техн.наук. – Новосибірськ: СибІМЄ, 1987. – 35с.

82. Елізаветін М.А. Підвищення надійності машин. – М.: Машинобудування, 1973. – 432с.

83. Abdula S.L., Kuhtov V.G., Podrigalo M.A. The way of providing durability of tractor constructions.// 3rd International Symposium on Tribo-Fatigue ‘ISTF’2000’. – Beijing, China.

84. Ящерицын П.И., Зайцев А.Г., Барботько А.И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов. – Минск.: Наука и техника, 1976. – 328с.

85. Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. Минск, Наука и техника, 1977. – 256с.

86. Ящерицын П.И., Белкин М.Я., Колот В.А. др. Повышение качества нежестких деталей на финишных операциях. Вестник машиностроения, 1990. №9. С.60-92.

87. Ящерицын П.И., Скоринин Ю.В. Работоспособность узлов трения машин. Минск, Наука и техника, 1984. – 288с.

88. Худобин Л.В., Бердический Е.Г. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке. – М.: Машиностроение, 1977. – 190с.

89. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Сопротивление абразивному изнашиванию и твердость металлов. Сб. Доклады АН СССР, том 83. – М.: изд-во АН СССР, 1953, С.181-203.
90. Халфін М.А. Визначення міжремонтних термінів служби машин в сільському господарстві. – М.: Колос, 1969. – 239с.
91. Щедровіцький Г.П. Проблеми методології системного дослідження. – М.: Знання, 1964. – 48с. – (Нове у житті, науці, техніці).
92. Райкунова Л.М. Взаимозаменяемость и контроль в машиностроении. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1977. – 152с.
93. Флейшман Б.С. Основы систем отологии. – М.: Радио і зв'язок, 1982. – 368с.
94. Забродський В.М., Топілін Г.Е. Управління технічною експлуатацією тракторів. – Київ: Урожай, 1991. – 256с.
95. Дондэ Р.Г., Рябков Е.К. Справочник по газовой арматуре и контрольно-измерительным приборам. – Л.: ГОСТоптехиздат, 1962. – 364с.
96. Дудко П.Д., Масловский В.В. Влияние природы микропорошка на эффективность абразивной доводки. Вестник машиностроения, 1969, №3, С.57.
97. Дорошенко В.И. Математическое моделирование процессов комбинированной вытяжки. Луганск. Изд-во ДНУ им. Даля, 2003. – 136с.
98. Дьяченко П.Е., Слинко Б.Л. Влияние микрогеометрии поверхностей цапф на работу подшипников из свинцовистой бронзы. – В кн.: Трение и износ в машинах. М.: 1950, т.5, С.25-41.
99. Detzer K.A. Radiometrische Verschleibuntersuchungen an axial belasteten Kugellagern. – Kerntechnik, 1964, №10, S.27-32.
100. ДСТУ 2863-94 Програма забезпечення надійності. – Введ.8.12.94. – 38с.
101. Дубінін Е.А., Полянський А.С. Комплексна оцінка ремонтпригодності тракторів// Тракторна енергетика в рослинництві: Сб.науч.тр., Вип..5. – Х.: ХДТУСГ, 2002. – С.95-102.
102. Душинський В.В., Пуховський Е., С., Радченко С.Г. Оптимізація технологічних процесів в машинобудуванні/ Під заг.ред. канд..техн.наук Г.Е. Тауріта. – К.: Техніка, 1977. – 176с.

103. Дехтерінський Л.В. Деякі теоретичні питання технології ремонту машин. – М.: Висш.школа, 1970. – 195с.
104. Джонсон Н., Ліон Ф. Статистика і планування експерименту в техніці і науці: Методи обробки даних: пер. з англ.. – М.: Мир, 1980. – 610с.
105. Дюмін І.Е. Вдосконалення і підвищення ефективності ремонту автомобілів і їх агрегатів// Автомобільний транспорт. – 1979. - №4. – С.29-31.
106. Поверхностноактивные вещества: Справочник / Абрамзон А.А., Бочаров В.В. и др. – Л.: Химия, 1979. – 376с.
107. Полянский А.С. Формирование свойств надежности автотракторных двигателей в гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации. Автор.дис.д-ра техн.наук 05.22.20. – Х., 2004. – 35с
108. Полянський А.С. Моделювання оптимальної надійності основних систем двигуна при мінімальних витратах на виробництво і експлуатацію. Вісник НТУ (ХПІ) Сб.науч.тр. Тематичний випуск: Автомобілі і тракторобудування. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2003. - №4. - С.133-138.
109. Пометун Ю.П. Вплив режимів і умов експлуатації на інтенсивність зміни параметрів технічного стану тракторів// Вдосконалення методів використання і обслуговування сільськогосподарської техніки: Праці ЧІМЕСХ. – Челябінськ; ЧІМЕСХ, 1987. – С.26-31.
110. Плаксин А.М. Взаємозв'язок тривалості механізованих операцій з їх технічною оснащеністю і безвідмовністю агрегатів// Вдосконалення методів використання і обслуговування сільськогосподарської техніки: Праці ЧІМЕСХ. – Челябінськ; ЧІМЕСХ, 1984. – С.31-35.
111. Подригало М.А., Кухтов В.Г., Полянський А.С. Забезпечення безвідмовності автотракторних двигунів. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції „Сучасні проблеми машинознавства”/ Під загальною ред.д.т.н., проф.. А.С. Шагиняна в 2-х т. – Гомель: ГГТУ, 2000. – т.1. – С.161-164.
112. Подригало М.А., Кухтов В.Г., Полянський А.С. Забезпечення надійності автотракторної техніки адаптивними методами технічного

обслуговування і ремонту: Сб.науч.тр., Автомобільний транспорт. Вип..4. – Х: ХГАДТУ, 2000. – С.49-51.

113. Полянський А.С. Формування безвідмовності тракторів в період прироблення (на прикладі двигунів СМД-62)/ Тракторна енергетика в рослинництві. Сб.науч.тр. – Х.: ХГТУСХ, 1998. – С.109-115.

114. Полянський А.С. Побудова моделей надійності двигунів і їх основних систем: Сб.науч.тр. Вісник ХДТУСГ. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вип..7. – Х.: ХДТУСГ, 2001. – С.63-68.

115. Ребиндех П.А. Физико-химическое исследование процесов в деформации твердых тел. – Юбилейный сборник АН СССР к XX-летию Октября, том 1, М. – Д.: издательство АН СССР, 1947.

116. Редько С.Г., Бердический Е.Г. Термическая стойкость абразивного зерна. – сб.: Известия вузов – Машинстроение, 1966, №4.

117. Рыжов Э.В. Технологическое управление геометрическими параметрами контактирующих поверхностей. – В кн.: Расчетные методы оценки трения и износа. Брянськ, 1975, С.98-138.

118. РД-50-490-84. Методичні вказівки. Технічна діагностика. Прогнозування залишкового ресурсу машин і деталей по непрямим параметрах. – М.: Вид-во стандартів, 1985. - 19с.

119. РД 50-699-90. Методичні вказівки. Надійність в техніці. Загальні правила класифікації відмов і граничних станів.

120. РД.10.16.0002.012-87. Керівний документ. Оцінка надійності відновлюваних деталей по поступових відмовах. – М.: ГОСНИТИ, 1988.

121. Резник Л.Г., Яговкин А.І. Про системний підхід в прикладній науці по автомобілю// Автомобільна промисловість. – 1974. - №10. – С.13-16.

122. Рижов Е.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Технологічне забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин. – М.: Машинобудування, 1979. – 176с.

123. Справочник по специальным работам. Защита строительных конструкций и технологического оборудования от коррозии. Под редакцией Балалаева Г.А. и Мощанского Н.А. 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1971. – 384с.

124. Скорытин Ю.В. и др. Применение метода поверхностной активации при испытании деталей машин на износостойкость. – Вестн.машиностроения, 1973, №8, С.36-39.

125. Семенов А.П. Роль термически активируемой адгезии при контактировании кристаллических тел. – В кн.: О природе трения твердых тел. Минск, 1971, С.109-116.

126. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Протопопов С.П. и др. Адаптивное управление технологическими процессами (на металлорежущих станках). – М.: Машиностроение, 1980. – 536с.

127. Сивоконенко И.М., Явленский К.Н. Влияние вибраций на величину момента сил трения в опорах. – Тр. ЛИАП. Л., 1963, вып.40., С.128-134.

128. ДНАОП 000-1.20-98 Правила безпеки систем газопостачання України. (ПБСТУ). К.: 1998, - 368с.

129. Евдокимов А.Г., Дубровский В.В., Теряшев А.Д. Потокораспределение в инженерных сетях. М.: Стройиздат, 1990. – 368с.

130. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/ Под ред.М.О. Штейнбега. 3-е изд.перев. М.: Машиностроение, 1992. – 672с.

131. Масловский В.В. и др. О направлении проектирования паст в СССР и за рубежом. Киев, Дом техники, 1974. Материалы конференции.

132. Масловский В.В. и др. Применение моющих композиций ТМОК-1П для обезжиривания деталей. К.: «Технология и производство», 1980 №3.

133. Масловский В.В., Череватый А.А. Перспективные технические моющие средства. Л.: Судоремонт рыбпрома, 1980 №44.

134. Масловский В.В., Череватый А.А. Влияние ПАВ на выходные показатели технических моющих средств. М.: Вестник машиностроения, 1981 №2.

135. Масловский В.В. и др. Обработка абразивными пастами на основе водного конденсата. М.: «Вестник машиностроения», 1983, №1.

136. Масловский В.В. Новое техническое моющее средство ТМОК -3П. Л.: «Судоремонт флота рыбпрома», 1983, №53.

137. Масловский В.В. , Полянский А.С. Теория расчета усилий при формообразовании биметаллической заготовки уплотнительной части трубной арматуры газотранспортной системы // Коммунальное хозяйство городов: Науч.техн.сб.вып.79 – К.: Техніка, 2009 – С.213-219.

138. Масловский В.В. Разработка и использование абразивно-доводочного материала. „Автомобильная промышленность”, 1970, №1, С.22-24.

139. Масловский В.В. , Дудко П.Д. Рекомендации по приготовлению абразивно-доводочных материалов. – Харьков.: Прапор, 1970, 16с.

140. Масловский В.В., Дудко П.Д. и др.. О стабилизации технологии окончательной обработки деталей приборов. Сб. „Приборы и системы автоматики”, №15, 1971, изд-во ХГУ.

141. Масловский В.В., Дежина Е.Г. Некоторые вопросы состава абразивно-доводочных материалов. Сб.научные труды Норильского вечерне-индустриального института. Технический выпуск, 1971, С.21-25.

142. Масловский В.В. К вопросу использования управляемых методов в деле оптимизации и унификации абразивно-доводочных материалов. Сб. «Приборы и системы автоматики», 1973, вып.28.

143. Масловский В.В. К вопросу методологии проектирования состава абразивно-доводочных материалов. – В кн.: «Тезисы докладов I Всесоюзной конференции «Теория и практика алмазной и абразивной обработки деталей приборов и машин». – М.: изд. МВТУ им.Баумана, 1973, С.127-133.

144. Масловский В.В. К вопросу проектирования состава паст и суспензии с использованием математических методов и ЭВМ. Сб.АСУ и приборы автоматики, 1974.

145. Масловский В.В., Демин И.И., Лось О.В. Прочность абразивного зерна смеси и его влияние на эксплуатацию уплотнительных пар компрессоров. Сб. «Всесоюзной научно-технической конференции в г. Сумы» Конструирование, технология изготовления и эксплуатация компрессорных машин. 1974, - С.131-132.

146. Лapidус А.С. Выбор конструкционных материалов для направляющих скольжения станков : Руководящие материалы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: 1970. – 76с.
147. Лейбензон Л.С. Курс теории упругости. – М. – Л.: Гостехиздат, 1947. – 464с.
148. Масловский В.В. Справочник по доводочным работам. – Харьков, Прапор, 1985. – 121с.
149. Масловский В.В. Технология обработки на доводочно-притирочных станках. Учебник – М.: Высшая школа, 1979. – 151с.
150. Лурье Г.Б., Масловский В.В. Основы технологии абразивной доводочно-притирочной обработки. Учебник – М.: Высшая школа, 1973. – 360с.
151. Масловский В.В., Капцов И.И. Основы технологии ремонта систем газотеплоснабжения. – Харьков.: ХГАГХ, 1999. – 327с.
152. Дудко П.Д., Масловский В.В. и др. Обработка абразивными пастами. – Ярославль: Верхнее-Волжское книжное издательство, 1970. – 153 с.
153. Масловский В.В. Новое в технологии абразивной доводки. Монография. – Харьков: Прапор, 1969. – 150с.
154. Масловский В.В. Доводочные и притирочные работы. – М: Высшая школа, 1971. – 256с.
155. Масловский В.В. Теоретические предпосылки метода агрегатирования при проектировании технологических материалов. – М.: Стандарты и качество, №12, С.30-32.
156. Масловский В.В., Савченко П.Д. Абразивно-доводочные работы при ремонте гидросистем. «Морской флот», 1968, №2, С.32.
157. Топанский В.Н. Повышение эффективности СОЖ. – М.: Машиностроение, 1975. – 88с.
158. Седак В.С., Дуболад А.С. Комплексні підходи до керування надійністю систем газопостачання, Харків, 2006. – 278с.
159. Дольский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М.: Машиностроение, 1975. – 223с.

160. Кравец С.В., Каслин Н.Д., Руднев В.К., Супонев В.Н. Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций. Харьков: ООО «Фавор», 2008. – 256с.

161. Технические средства диагностирования. Справочник/ В.В. Ключев и др./ М.: Машиностроение, 1989. – 672с.

162. Масловский В.В. К вопросу научных основ единой системы планово-предупредительного ремонта газового оборудования.// Коммунальное хозяйство городов: Наук.техн. Сб.Вып.79, - К.: Техніка, 2007.

163. Janusz Diczach. System: Konstrukcja. Warszawa Wyd. Naukowa-Techniczne, 1978. – 445с.

164. Рей И. Методы управления технологическими процессами. М.: Мир, 1966. – 327с.

165. Ковалко М.П. Методи та засоби підвищення ефективності функціонування систем трубопровідного транспорту газу. К.: Українські енциклопедичні знання, 2001. – 287с.

166. Масловский В.В. Технологическая наследственность и ее влияние на надежность и долговечность эксплуатации трубной арматуры транспортных энергетических систем.// Коммунальное хозяйство городов: Науч.техн. сб. вып.88 – К.: Техніка, 2009. С 180-185

СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯМ СОКРАЩЕНИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	4
РАЗДЕЛ 1.АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТРАНСПОРТНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	9
1.1 .Структура современных транспортных энергетических трубопроводных систем	9
1.2.Трубная арматура и ее функциональная роль в транспортной трубной системе.....	16
1.3. Современное воззрение на технологию ремонта транспортных трубопроводных систем и оборудования, ее проблемы.....	22
1.4. Системный анализ эффективности использования трубной арматуры транспортных трубопроводных систем по технико-экономическим критериям.	27
1.5. Выводы и постановка задачи исследования.....	41
РАЗДЕЛ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ "ТРАНСПОРТНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ НА ЭТАПАХ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА.....	44
2.1. Методологическое обеспечение надежности агрегатов трубопро- водных транспортных систем.....	44
2.2. Теоретические аспекты свойств надежности техники и технологии на стадии производства.....	47

2.3. Задачи определения технического состояния трубной арматуры транспортных систем.....	51
--	----

2.4. Математическая модель определения надежности конструктивного элемента трубопроводной системы по единичному вектору измерений.....	58
--	----

2.5. Методы оценки эффективности ремонтно-эксплуатационных работ по технико-экономическим критериям	63
---	----

РАЗДЕЛ 3. СТРАТЕГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТРУБНОЙ АРМАТУРЫ ТРАНСПОРТНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ПО КРИТЕРИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ	68
---	----

3.1. Стратегия обеспечения надежности транспортных трубопроводных систем и их конструктивных элементов.....	68
---	----

3.2. Явления технологической наследственности и надежность трубной арматуры.....	78
--	----

3.3. Обеспечение надежности трубной арматуры технологическими методами	81
--	----

3.4. Теоретический и экспериментальный поиск критерия, оценивающего эксплуатационную надежность прецизионных пар арматуры.....	92
--	----

3.5. Условия изменения коэффициентов влияния технологического наследования при окончательной обработке прецизионных пар арматуры.....	102
---	-----

РАЗДЕЛ 4. ПРОГНОЗ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	107
--	-----

4.1. Современное воззрение на вспомогательные материалы технологического назначения как систему.....	107
--	-----

4.2. Системный подход к проектированию состава вспомогательного материала.....	110
4.3. Математическая модель состава вспомогательного материала любого технологического назначения.....	120
4.4. Формализованная модель проектирования состава технических моюще-очищающих композиций	125
4.5. Практическая реализация теоретических разработок при создании технических моющих средств.....	134
РАЗДЕЛ 5. ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ	
ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ НА ЭТАПЕ	
ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА.....	142
5.1. Системный анализ обеспечения надежности конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем.....	142
5.2. Принципы обеспечения надежности в ходе производства ремонта конструктивных элементов транспортных трубопроводных систем.....	149
5.3. Формирование свойств надежности высокоточных конструкционных элементов арматуры.....	155
5.4. Определение взаимосвязи показателей надежности с объемами ремонтно-эксплуатационных работ.....	161
5.5. Научные основы разработки планов технического обслуживания и ремонта газового оборудования.....	171

РАЗДЕЛ 6. МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЕМ НАДЕЖНОСТЬЮ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ.....	179
6.1. Формирование свойств надежности элементов транспортных трубопроводных систем на стадии производства.....	179
6.2. Прогнозирование функционально-технического состояния элементов транспортных трубопроводных систем.....	192
6.3. Экспериментальные исследования, связанные с установлением влияния технологической наследственности прецизионных пар на надежность и долговечность эксплуатации трубной арматуры.....	206
6,4. Методические рекомендации к совершенствованию технологии ремонта трубной арматуры транспортных систем.....	217
6.5 Теория расчета усилий при формообразовании биметаллической заготовки уплотнительной части трубной арматуры газотранспортной системы.....	225
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	233
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	236

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Масловский Вячеслав Викторович

ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ И РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ

Монография

Научный редактор: В.И. Торкатюк

Редактор: Н.З. Алябьев

Компьютерная верстка: I.B. Волосожарова

Разработчик оригинала обложки: Т.Е. Клочко

План 2009, поз. 27 МН

Подп.к печ. 4.11.09.	Формат 60x84 1/16	Бумага офисная
Печать на ризографе	Усл.-печ. л. 11.0	Уч.-изд.л. 11.5
Тираж 300 экз.	Зак.№	

ХНАГХ, 61002, Харьков, ул. Революции, 12

Сектор оперативной полиграфии ЦНИТ ХНАГХ
61002, Харьков, ул. Революции, 12